

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод конвейера агломерационного производства

УДК 62-83:621.867-5:622.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Уразбаев Искандер Юмашевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

Дементьев (Подпись)
(Ф.И.О.)

Ю.Н.

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Уразбаеву Искандеру Юмашевичу

Тема работы:

Электропривод конвейера агломерационного производства	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3244/с от 10.05.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема Схема электрическая структурная. Имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода Статические характеристики электродвигателя и электропривода

	Технико-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И.А.			05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Уразбаев Искандер Юмашевич		05.04.2018г.

Реферат

В данном дипломном проекте был произведен расчет и выбор силового оборудования для электропривода агломерационной машины.

Результатом расчета является выбор электродвигателя постоянного тока Д-818 на 85 кВт; трансформатора серии ТСЗП; непереворачивающего тиристорного преобразователя серии КТЭ.

Для управления электроприводом принята одно-зонная система автоматического регулирования, для которой рассчитаны параметры датчиков и регуляторов. Разработаны схемы управления и защит.

Расчет переходных процессов электропривода произведен с помощью ЭВМ.

В разделе “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение” работы произведен экономический расчет разработки и выполнения научно-технического проекта, и проведение монтажно-наладочных работ.

В разделе “Социальная ответственность” проекта освещены вопросы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности при работе с электрооборудованием агломерационной машины. Произведен расчет искусственного освещения.

. Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, также использовались программы MathCad 13, Matlab.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Проектно-пояснительная часть	9
1.1 Объект автоматизации. Назначение. Общий вид. Параметры и характеристики	9
1.2 Механизм. Назначение. Кинематическая схема. Параметры	11
1.3 Технологический процесс. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	13
1.3.1 Технологический процесс цеха агломерации	13
1.3.2 Описание. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	21
1.4 Обоснование и выбор рода тока, типа электропривода и способа регулирования координат, выбор вида автоматизации технологического процесса	22
1.4.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока	22
1.4.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат	23
1.4.3 Условия и режим работы, требования к электроприводу	25
1.5 Разработка технического задания	26
2 Проектно-расчетная часть	28
2.1 Выбор электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям	28
2.2 Выбор тиристорного преобразователя	40
2.3.Выбор трансформатора	41
2.4 Выбор сглаживающего реактора	45
2.5 Расчет параметров силовой цепи	47
2.6 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода	49
2.7 Расчет электромеханических характеристик разомкнутой системы преобразователь-двигатель	51
2.8 Расчёт электромеханических характеристик системы УВ-Д	51
2.9 Структурная схема системы автоматического регулирования электропривода	55
2.10 Оптимизация контура тока	57
2.11 Оптимизация контура ЭДС	60
2.12 Расчет статических электромеханических характеристик	62
2.13 Анализ нелинейных структур САУ РЭП. Моделирование нелинейных структур САУ РЭП	70
2.13.1 Расчет переходных процессов и определение динамических показателей качества нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный	73
2.14 Принципиальная схема САУ ЭП	76
2.15 Функциональная схема ЭП	77
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	80

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	81
3.1 Обоснование необходимости применения регулируемого электропривода	81
3.2 Структура пусконаладочных работ	83
3.3 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ	85
3.4. Расчет эксплуатационных затрат	89
3.4.1 Амортизационные отчисления	89
3.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт	89
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	91
4 Социальная ответственность	93
4.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	95
4.3 Экологическая безопасность	95
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях в цехе агломерации	96
4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
Заключение	103
Conclusion	104
Список использованных источников.	105
Приложение А	107

Введение

Современное металлургическое производство является крупным потребителем электрической энергии. Развитие металлургического производства характеризуется постоянным ростом потребления электроэнергии на тонну выпускаемой продукции. В электрификации черной металлургии особое место занимает электрический привод, так как удельный вес непрерывно растущего потребления электроэнергии на двигательную силу достигает в ней около 80%.

Автоматизация технологических процессов, повышая эффективность производства, увеличивает производительность оборудования, снижает эксплуатационные расходы, создает экономию электроэнергии, сырья, тем самым, обеспечивая экологическую чистоту и улучшение качества всего производства.

Современный автоматизированный электропривод – это высоконадежная и экономичная электромеханическая система, способная полностью обеспечить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности при своей работе, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

На современном этапе технологического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной мере стал определять прогресс в областях техники и технологии, связанных с воспроизводством механических движений, получаемых путем электромеханического преобразования энергии.

Энергетическую основу аглоизвесткового производства составляет электрический привод, технический уровень развития которого определяет эффективность работы технологического оборудования цехов и основными направлениями развития которого являются, повышение экономичности и надежности работы. Это достигается путем усовершенствования

электродвигателей, преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, коммутационной аппаратуры и элементов защиты.

Применение тиристорного преобразователя позволяет повысить быстродействие, увеличить надежность, долговечность привода и, как следствие повысить производительность труда и качество продукции. Применение тиристорного привода позволяет уменьшить энергоемкости работ, увеличить быстродействие за счет сокращения времени переходных процессов и времени на настройку, повысить качество продукции – за счет улучшения таких показателей, как плавность регулирования, повышение коэффициента использования оборудования.

1 Проектно-пояснительная часть

1.1 Объект автоматизации. Назначение. Общий вид. Параметры и характеристики

Железородная часть шихты, используемая в доменном процессе, подлежит окусковыванию, которое осуществляется двумя способами: агломерацией и окомковыванием (окатыванием).

Агломерацией называется термический процесс окусковывания рудных материалов путем их спекания с целью придания формы и свойств, необходимых для доменной плавки. Процесс агломерации осуществляется на агломерационных машинах.

Сущность процесса агломерации сводится к спеканию на агломерационных машинах исходного сырья, смешанного с топливом и различными добавками (известняком, доломитом, и т. д.), ускоряющими процесс спекания. В процессе агломерации из руды удаляются вредные для чугуна примеси (серы, фосфора, мышьяка и т. п.).

Применение агломерата ускоряет процесс плавки чугуна в доменных печах, при этом снижается расход кокса, а производительность доменной печи повышается на 15-20%.

Производственные процессы на агломерационных фабриках характеризуются непрерывностью, что создает благоприятные условия для их полной механизации и комплексной автоматизации.

Меняющийся состав исходного сырья, сложность физико-химических процессов, наличие большого количества внешних возмущающих воздействий (смерзание руды зимой, зависание материалов в бункерах, завалка течек, сход ленты и т. п.) предъявляют к системам автоматического управления ряд специфических требований.

Аглодоменное производство характеризуется непрерывным высокомеханизированным процессом, в котором участвует большое число

технологически связанных механизмов. Конвейеры, питатели и другие транспортные механизмы и устройства аглоцеха объединены в поточно-транспортную систему (ПТС), имеющую централизованное автоматизированное управление

Механизмы ПТС заблокированы между собой, благодаря чему осуществляется последовательность пуска их в направлении, обратном грузопотоку, автоматическая остановка всех предыдущих механизмов (считая от начала линии) при остановке одного из них во избежании завала и т. п.

В аглоцехе широко применяется диспетчерское централизованное управление ПТС, оснащенное средствами программирования, телемеханики, и вычислительной техники. Централизованная система управления механизмами поточного производства предусматривает три режима управления: централизованное со щита оператора; местное для производства ремонтных работ, а также местное заблокированное для наладочных работ и на случай выхода из строя системы централизованного управления.

Режимы управления можно выбирать централизованно для всех механизмов участка, пользуясь общим для всех механизмов избирателем управления, установленным на щите оператора, либо индивидуальным для каждого механизма избирателем управления, или путем установки избирателя управления на блоках управления этими электродвигателями. Индивидуальный выбор режимов управления механизмами позволяет переводить отдельные механизмы на тот или иной режим управления, не нарушая централизованное управление участком. Это особенно важно для разветвленных участков с несколькими трактами, поскольку дает возможность при централизованном управлении участком на местном или местном заблокированном режимах, управления осуществлять ремонтные и наладочные работы отдельных механизмов. Однако индивидуальный выбор

режимов управления механизмами требует многочисленных приборов и больших капитальных затрат. Поэтому при небольшом числе механизмов на участке его не используют. Для обеспечения безопасности обслуживания предусматривают различные виды сигнализации: предупредительную, предупреждающую персонал о предстоящем пуске механизмов; предупреждающую, сигнализирующую отклонение от нормального состояния отдельных автоматизированных узлов поточного производства; аварийную, сигнализирующую об аварийной остановке механизмов, и др.

Используют как мало проводные схемы с шаговыми искателями и другими элементами телемеханики, так и более простые много проводные схемы, в которых избирание и управление механизмами осуществляется с помощью ключей и кнопок.

Высокое качество агломерата и максимальная производительность агломашины обеспечивается при автоматизации и оптимизации технологического процесса, когда создаются условия для поддержания постоянства состава и физико-механических свойств шихты, заданной высоты слоя шихты на спекательных тележках, постоянной оптимальной влажности шихты, постоянного соотношения газ-воздух и температуры горна, регулирование скорости движения ленты в зависимости от вертикальной скорости спекания с таким расчетом, чтобы процесс спекания заканчивался над предпоследней вакуум-камерой и т.п.

1.2 Механизм. Назначение. Кинематическая схема. Параметры

В процессе агломерации исходные шихтовые материалы вначале усредняют по содержанию железа, затем дозируют, смешивают между собой и топливом (коксом), увлажняют и расстилают слоем заданной толщины (около 0,35м) на непрерывно движущихся колосниках, которые перемещаются по кольцевому рельсовому пути. Через образованный слой шихтовых материалов продувается воздух с помощью мощных дымососов

(экспаустеров) с целью полного выгорания коксика по всей толщине рабочего слоя и получения пористой структуры агломерата, необходимой для доменной плавки.

Преимущественное распространение получили агломерационные машины серии АКМ. Основным узлом агломашины конвейерного типа является спекательная тележка, на которой укреплены колосники. Тележки перемещаются по направляющим рейкам. В конце горизонтального пути тележки опрокидываются, выгружая агломерат, и скатываются к головной части машины. Здесь специальные зубчатые колеса захватывают грузовые ролики тележки и, поднимая их на уровень верхнего пути, продвигают вперед все тележки. Лента приводится в движение зубчатыми колесами через редуктор от электродвигателя постоянного тока.

Одним из условий получения качественного агломерата является обеспечение соответствия между скоростью агломашины и скоростью спекания шихты, которая зависит от высоты ее слоя, влажности, состава и др. Кроме того, скорость движения аглоленты должна быть согласована с работой питателя, подающего на нее шихту.

Кинематическая схема механизма агломашины представлена на рисунке 1.

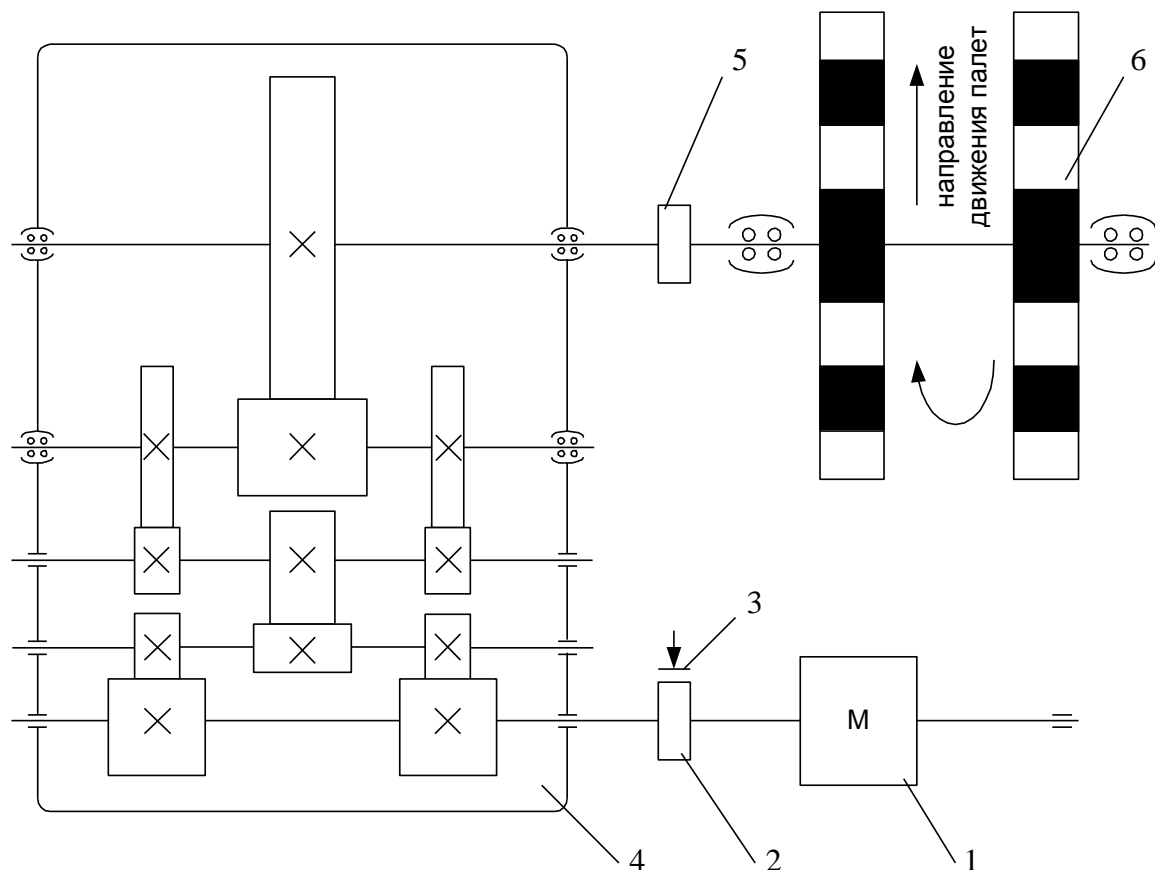


Рисунок 1.- Кинематическая схема механизма агломашины.

Состав механизма 1 двигатель, 2 электромагнитная муфта, 3 электромагнитный тормоз, 4 четырёх ступенчатый редуктор, 5 муфта и 6 паллета.

1.3 Технологический процесс. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации

1.3.1 Технологический процесс цеха агломерации.

Все исходные материалы подвозятся к цеху в саморазгружающихся вагонах и хранятся в соответствующих бункерах.

Цех в своем составе имеет:

- участок дробления топлива;
- участок дробления известняка;
- дозировочное отделение;

- спекательное отделение;
- отделение охлаждения и сортировки агломерата.

Участок дробления топлива

На участок дробления кокса поступает кокс фракцией(25-40) мм около 1 % , фр.(10-25)мм до 10% и основная (отсев с КХП и доменного цеха) фр. 10 мм – 90%.

Площадь склада топлива разбивается на два квадрата по длине. В одном квадрате формируется штабель, в это время из заранее сформированного штабеля производится забор усредненного топлива. Постоянный технологический запас топлива на складе должен составлять 5-7 тыс. тонн.

Дробление топлива для агломерации производится в две стадии: на коротко конусной дробилке КМД-1750 до крупности 15 мм, а затем на четырех валковых дробилках типа ДТ900*700 до крупности 3мм.

Со склада усредненное топливо подается через перегрузочный узел N 16 в корпус дробления на инерционный грохот. Надрешетный продукт грохочения, классы крупностью более 15мм, поступают по конвейеру ДТ-2 в конусную дробилку, а подрешетный (фракция менее 15мм) – конвейерами П16-2, ИТ-1 подается в бункера корпуса измельчения топлива.

Для нормальной работы конусной дробилки необходимо обеспечить равномерное распределение топлива вокруг дробящего конуса. Разгрузочная щель дробилки устанавливается на уровне 8-12мм. Во избежании попадания металла в конусную дробилку, на конвейерах ИТ-1 и П16-1 установлены электромагнитные металлоискатели.

В случае остановки дробилки на ремонт, топливо фракция менее 15мм попадает в корпус измельчения топлива (КИТ). Измельчение топлива производится четырех валковыми дробилками, которых в корпусе имеется 6 шт., установлены бункера емкостью 50 м³ каждый. Загрузка их топливом

производится реверсивным передвижным конвейером ИТ-2. Из бункеров топливо выдается через питающие воронки с затворами шиберного типа на ленточные конвейера, подающие топливо в дробилки. Для предупреждения попадания металла в дробилки на загрузочных конвейерах установлены электромагнитные металлоискатели.

Для обеспечения качественного измельчения топлива валки должны иметь равномерный износ. Зазор как между верхними, так и между нижними валками устанавливается равномерный по всей длине и должен быть между верхними валками 4-6мм, между нижними – 1-1,5мм.

Подготовленное для агломерации топливо представляет собой измельченный продукт крупностью менее 3мм. Содержание классов крупностью 3мм в готовом топливе не должно превышать 9%. Чрезмерное измельчение топлива так же вредно, как и недоизмельчение, поэтому содержание классов в нем менее 0,5мм должно быть минимальным.

Контроль качества подготовленного топлива для агломерации проводится путем отсева проб топлива, отбираемых работниками отдела технического контроля (ОТК).

Участок дробления известняка

Подача известняка в корпус дробления осуществляется конвейером ДИ-1, загрузка бункеров молотковых дробилок – конвейером ДИ-3.

Дробление известняка производится на молотковых дробилках типа ДМ РИЭ-10*10, работающих в замкнутом цикле с инерционными грохотами 173ГР, на которых отсеивается фр. менее 5мм. Во избежание попадания металла в дробилку на конвейерах ДИ-1, ДИ-2 установлены металлоискатели и подвесные электромагниты.

Для равномерной загрузки дробилок на каждую предусмотрен бункер

емкостью 15 т, оборудованный питателем. Загрузка известняка на дробилку, в зависимости от его крупности и качества оборотного продукта, регулируется при помощи изменения скорости ленты питателя, реечного затвора и шиберов. Качество дробления обеспечивается величиной зазора между колосниками решетки и молотками ротора. Зазор между колосниками колосниковой решетки должен составлять 8-10мм.

Дробленый известняк из под молотковой дробилки конвейером СОИ-1 подается в бункера грохотов через двух рукавную загрузочную тележку (автостеллу). На грохотах сортировки известняка устанавливаются плетеные сита с размером ячейки 5мм. После грохочения готовый известняк фракция 5мм подается на бункера шихты по конвейерам П20-1,Ш-10. Известняк крупностью свыше 5мм (надрешетный продукт) конвейерами ДИ-2, ДИ-3 направляется в бункера молотковых дробилок.

Крупность известняка в готовом продукте не должна превышать 5мм, причем содержание фракции 5мм допускается не более 4%. Ситовый состав известняка контролируется ОТК.

Дозировочное отделение

Основное назначение дозировки, обеспечить получение агломерата заданного качества с постоянными физико-химическими свойствами.

Дозировка агломерационной шихты заключается в поддержании заданного соотношения и количества между компонентами шихты. По технологической схеме агломерации дозирование компонентов шихты (коршуновского концентрата, смеси руд, окислы, марганцевых добавок, флюса и части топлива) производится в шихтовом отделении, дозирование возврата – в корпусе первичного смешивания (КПС), окончательное дозирование топлива производится в аглокорпусе.

В дозирочном отделении работает система автоматического дозирования компонентов шихты.

На каждую машину шихта дозируется ленточными дозаторами (известняк, аглоруда, коксик) и тарельчатыми питателями (железорудный концентрат и добавки) из 19 бункеров емкостью 70м³ каждый.

Шихта из дозирочного отделения поступает в КПС, где смешивается с возвратом. Дозирование возврата в шихту каждой агломашины производится тарельчатыми питателями из общего бункера возврата объемом 500м³.

В общий бункер поступают: возврат, выделяемый на самобалансных грохотах горячего агломерата после дробления аглоспека; холодный возврат, выделяемый на самобалансных грохотах охлажденного и сортировки постели; отсев агломерата из газовых коллекторов агломашин.

Шихта с возвратом смешиваются в барабанных смесителях отдельными для каждой машины. В смесителях происходит перемешивание всех видов шихты, подогрев шихты за счет горячего возврата и первоначальное ее увлажнение.

Спекательное отделение

Окомковывание шихты производится в окомкователях ОВ6-3,2-12-5, которые установлены в аглокорпусе над каждой агломашиной. Там производится окончательное перемешивание шихты с добавочным топливом, увлажнение и окомковывание. Увлажнение шихты в окомкователях производится эвольвентными форсунками, позволяющими получать тонкое распыление воды.

Часть топлива вводят в аглошихту в корпусе шихтовых бункеров. Затем

содержание углерода в обоих слоях шихты доводится до требуемого уровня дозированием дополнительного топлива в аглокорпусе перед смесителями-окомкователями, для чего на каждой агломашине имеется по 5 бункеров емкостью 50м^3 (два для нижнего и три для верхнего слоя).

Шихта укладывается на предварительно уложенную постель. Постель представляет собой мелкий агломерат фракцией 20-23мм, который выделяется на самобалансных грохотах охлажденного агломерата с добавлением просыпи из под охладителей. Этот продукт подвергается дополнительной классификации в узле сортировке постели на пневмокласификаторе. Количество постели, загружаемое на колосниковую решетку, зависит от скорости агломашины и должно быть таким, чтобы слой постели составлял не менее 20мм. Количество постели контролируется по показаниям весов на конвейере П8-3. Регулирование количества постели производится сокращением или добавлением щелей на грохотах.

Загрузка шихты на агломашину осуществляется через барабанный питатель. Питатель находится над загрузочным бункером. Равномерное распределение шихты в загрузочном бункере в направлении, перпендикулярном оси агломашины, достигается при помощи передвижных конвейеров, работающих в челноковом режиме.

Высота слоя шихты на агломашинах устанавливается в зависимости от степени подготовки шихты и соответствии тяговых средств может меняться от 300 до 500мм.

Загрузка шихты двухслойная. Нормальное соотношение между верхним и нижним слоями при высоте слоя до 400мм должно составлять $1/2$, при высоте более 400мм – $1/3$.

На всех агломашинах чугунные колосники спекательных тележек заменены на стальные, часть из которых изготавливается на комбинате штампованием.

Зажигание шихты является начальной стадией процесса спекания и от правильной организации его зависят производительность агломашин и качество агломерата по механической прочности. Спекание подготовленной шихты является основным этапом в технологии получения качественного агломерата и осуществляется за счет горения углерода топлива в слое шихты и формирования жидкой фазы.

Агломерационный процесс является весьма совершенным по использованию тепловой энергии топлива за счет регенерации тепла. Поэтому несмотря на небольшое содержание топлива в шихте (3,5-4,5%), при правильной организации процесса спекания в зоне горения топлива развивается температура до 1450-1500С⁰, при которой происходит плавление и формирование жидкой фазы.

Скорость движения спекательных тележек регулируется агломератчиком в зависимости от вертикальной скорости спекания таким образом, чтобы спекание заканчивалось на предпоследней вакуум-камере.

Вертикальную скорость спекания можно определить по формуле:

$$V_B = (H \cdot V_T) / L$$

где H – высота слоя шихты, мм;

V_T – скорость движения палет, м/мин;

L – длина площади просасывания, м;

Скорость движения палет должна быть временно снижена при следующих режимах спекания:

- недостаток или избыток влаги в шихте;
- ухудшение подготовки смешивания и окомковывания шихты;
- уплотнение шихты при загрузке;
- снижение температуры подогрева шихты;
- работа без постели;

- избыток углерода в шихте.

После снижения скорости движения палет принимают все необходимые меры к устранению причин.

Для получения наибольшей производительности агломашины следует стремиться использовать полную мощность эксгаустеров. В исключительных случаях (при аварии или ремонте эксгаустера) с разрешения начальника цеха допускается работа агломашины с одним эксгаустером. При работе одним эксгаустером необходимо уменьшить общую высоту слоя шихты до 250-300мм и откорректировать расход топлива.

Высокопроизводительная работа доменных печей достигается в том случае, когда используется агломерат крупности фракцией в пределах 5-30мм, что достигается соответствующим дроблением и грохочением агломерата.

Охлаждение и сортировка агломерата

Транспортировка агломерата в доменный цех осуществляется конвейерами с резиновой лентой. В целях исключения случаев загорания ленты, а также по санитарно-техническим требованиям, агломерат должен охлаждаться до 100-120С⁰. Дробленый агломерат охлаждается на прямолинейных охладителях ОП-315 с продувом воздуха снизу.

На агломашине №1 для подачи агломерата на охладитель применяется схема обратной загрузки. Охлажденный агломерат после охладителей вначале поступает на стационарный грохот, где отделяется фр. Более 30мм, и затем направляется в доменный цех, а фр. Менее 30мм поступает на самобалансный грохот, на котором вначале отделяется мелочь (менее 5мм), а затем "постель" крупностью 5-13мм. Мелочь подается в КПС, а "постель"

укладывается на колосники спекательных тележек агломашины.

Готовый агломерат по конвейерным трактам подается в доменный цех. Перед загрузкой в скип доменной печи из агломерата отделяется класс менее 5мм, который в смеси с холодным возвратом направляется в КПС.

1.3.2 Описание. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации

Система электропривода агломерационной машины должна удовлетворять следующим основным требованиям: диапазон регулирования скорости 1:5; точность поддержания скорости во всем диапазоне регулирования 5%. Система регулирования скорости автоматическая, в функции сигналов технологических датчиков. Должны быть обеспечены также автоматическое поддержание величины тормозного момента, предварительный выбор зазора между палетами в верхней ветви ленты, фиксация палет на звездочках во время остановки машины и т. п. Схема должна обеспечивать также подрегулирование скорости барабанного и тарельчатого питателей.

Указанным требованиям удовлетворяет ЭП постоянного тока, выполненный по системе тиристорный преобразователь – двигатель (система ТП-Д).

Для ЭП большинства механизмов аглоцеха, в том числе ПТС, используются в основном асинхронные электродвигатели напряжением 380 В, мощностью до 250 кВт. Двигатели с фазным ротором используются для конвейеров большой протяженностью. Для эксгаустеров используются синхронные электродвигатели напряжением 10кВ, мощностью 5МВт.

Включение в работу механизмов потока агломашины осуществляется в строго определенной последовательности, что обеспечивается соответствующими блокировками. Например, перед пуском агломашины

включается насос масла смазки и дробилки агломерата. Питатели включаются и останавливаются одновременно с агломашиной и т. д.

1.4 Обоснование и выбор рода тока, типа электропривода и способа регулирования координат, выбор вида автоматизации технологического процесса

1.4.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока

Выбор системы электропривода является одним из важнейших этапов процесса проектирования, так как от этого будет зависеть технико-экономический успех проекта, что в условиях жесткой конкурентной борьбы является его “путевкой в жизнь”. Поэтому необходимо проанализировать различные системы электропривода и выбрать ту, которая в большей степени будет удовлетворять технологическим и экономическим требованиям, предъявляемым к электроприводу.

Дадим сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока.

Несмотря на то, что асинхронные двигатели не требуют таких больших капиталовложений, как двигатели постоянного тока, в нашем случае следует отдать предпочтение именно двигателям постоянного тока, так как:

- двигатели постоянного тока имеют большую перегрузочную способность (до $6 M_H$), чем асинхронные двигатели (не более $3 M_H$);
- двигатели постоянного тока имеют более мягкую механическую характеристику, что дает более короткое время разгона механизма; при малых статических моментах двигатель постоянного тока развивает большую скорость, чем асинхронный двигатель;

- электрическое торможение у двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает результаты лучше, чем у асинхронных двигателей;

- аппаратная реализация и математическое описание законов управления электроприводов постоянного тока значительно проще, чем у приводов, работающих на переменном токе. Важно отметить, что стоимость аппаратуры управления электроприводов переменного тока значительно превышает стоимость аппаратуры управления приводов постоянного тока.

Таким образом, мы пришли к выводу, что в качестве электропривода агломерационной машины целесообразно будет использовать электропривод постоянного тока.

1.4.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат

Немаловажным аспектом в процессе проектирования является выбор системы регулирования координат. Для электроприводов большой мощности обычно используют следующие системы:

- система генератор-двигатель (Г-Д);
- система тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д);
- система преобразователь частоты - асинхронный двигатель.

Рассмотрим достоинства и недостатки каждой из систем.

С давних пор и до настоящего времени для возбуждения генераторов в системе Г-Д использовались силовые реверсивные магнитные усилители – устройства простые надежные, но несовершенные. Низкий КПД (около 35%), большие габариты, низкое быстродействие, невысокий коэффициент усиления и ряд других недостатков не позволяли реализовать требуемое быстродействие привода. В последние годы они заменяются на реверсивный тиристорный преобразователь ТВГ и обмотку возбуждения

синхронного двигателя, которая раньше подключалась к нерегулируемому источнику, обеспечили для целей автоматического регулирования нереверсивным тиристорным возбудителем ТВС. Применение микроэлектроники в системе управления обеспечивает быстроедействие и точность системы Г-Д на уровне, не уступающем системе ТП-Д. К достоинствам системы Г-Д по сравнению с системой ТП-Д относится отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности даже при асинхронном приводном двигателе. У тиристорного преобразователя эти показатели несколько хуже, так как $\cos\phi$ изменяется в широких пределах, значительно искажается форма потребляемого из сети тока. Для коэффициента мощности применяют регулируемые фильтрокомпенсирующие устройства ФКУ. Однако, введение этих устройств ухудшает в 1,5-2 раза массогабаритные показатели системы ТП-Д и увеличивает ее стоимость. Важным достоинством системы ТП-Д является ее высокий КПД. Потери энергии в тиристорах при протекании номинального тока составляют 1-2% номинальной мощности электропривода. Поэтому даже с учетом потерь в реакторе и трансформаторе КПД преобразователя достаточно высок.[5].

Оценивая экономичность систем, можно сказать, что массогабаритные и энергетические показатели системы Г-Д определяются необходимостью присущего этой системе трехкратного электромеханического преобразования энергии в трех входящих в эту систему электрических машин: ПД, Г и Д. Как следствие, установленная мощность машин привода возрастает втрое, и благоприятные регулировочные возможности достигаются ценой существенных дополнительных затрат меди, высококачественной стали и труда. Установка вращающегося преобразовательного агрегата требует сооружения специального фундамента, центровки агрегата, тщательной настройки коммутации тока коллектором генератора и т.д. В эксплуатации

вращающийся преобразовательный агрегат, особенно его подшипники и коллектор генератора требуют большого внимания и ухода, что увеличивает эксплуатационные затраты [3].

Таким образом, мы приходим к выводу, что в сравнительном варианте использования нереверсивного преобразователя преимущества статического перед вращающимся говорят в пользу системы тиристорный преобразователь – двигатель.

Что касается электропривода переменного тока, то следует отметить следующее: он в полной мере отвечает предъявляемым техническим требованиям, но отличается повышенной сложностью и более высокой стоимостью.

1.4.3 Условия и режим работы, требования к электроприводу

Выбор рода тока и типа электропривода производится исходя из целого ряда условий, предъявляемых к режиму работы исполнительного механизма.

Одним из условий получения качественного агломерата является обеспечение соответствия между скоростью движения аглоленты и скоростью спекания шихты, которая зависит от высоты ее слоя, влажности, состава и др. Кроме того, скорость движения аглоленты должна быть согласована с работой питателя, подающего на нее шихту.

Система электропривода агломерационной машины должна удовлетворять следующим основным требованиям: диапазон регулирования скорости 1 : 10; погрешность поддержания скорости во всем диапазоне регулирования не более 10%. Система регулирования скорости автоматическая, в функции сигналов технологических датчиков. Должны быть обеспечены также автоматическое поддержание величины тормозного

момента, предварительный выбор зазора между спекательными тележками в верхней ветви ленты, фиксация спекательных тележек на звездочках во время остановки машины.

Указанным требованиям удовлетворяет электропривод постоянного тока, выполненный по системе ТП–Д (тиристорный электропривод–двигатель).

1.5 Разработка технического задания

Разработать регулируемый электропривод агломерационной машины, удовлетворяющий следующим заданным техническим условиям и требованиям:

1. Род тока – постоянный;
2. Тиристорный преобразователь неревверсивный;
3. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока $U_c=6\text{кВ}$ с частотой $f_c=50\text{Гц}$;
4. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения $+10\%, -15\%$;
5. Нагрузка - реактивная;
6. Работа в длительном режиме;
7. Максимальная линейная скорость: $V_{\text{max}}=6.9\text{ м/мин.}$;
8. Диапазон регулирования скорости: $D=1:10$;
9. Статическая погрешность поддержания скорости вращения не более 10% ;
10. Время переходных процессов не более 10 с ;
11. Перерегулирование не более 20% ;
10. Сигнал управления – аналоговый $\pm 10\text{ В}$;
11. Допустимая перегрузка двигателя в переходных режимах: $I_{\text{мак}}/I_{\text{мин}}\leq 3.5$;
12. Коэффициент полезного действия 0.92 ;

13. Частота питающей сети 50 Гц $\pm 2\%$, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ13109 – 87;
14. По защищенности от проникновения твердых тел и воды технические средства электропривода должны иметь степень защиты IP55, согласно ГОСТ14254 – 80;
15. По устойчивости к внешним вибрационным воздействиям аппаратура электропривода должна соответствовать исполнению L3 по ГОСТ12007–84;
16. Система электропривода должна обеспечивать безотказную работу в помещениях со следующими условиями: температура окружающей среды от 1 до 40°C; относительная влажность от 40 до 80% (при температуре +25°C); атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст.; высота над уровнем моря до 1000м;
17. Бесперебойная работа электропривода должна обеспечиваться за счет высокой надежности аппаратных средств и правильной эксплуатации. Гарантийный срок работы 4000-6500 ч.;
18. Срок службы не менее 20 лет;
19. Конструкция системы должна обеспечивать легкий доступ к любому ее элементу, а также возможность быстрой замены вышедшего из строя модуля;
20. Требования по безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ25.861 – 83;
21. Все элементы, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного соприкосновения, а также заземление или зануление в соответствии с ГОСТ12.1030-81;
22. Уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать 70 дБ.

2 Проектно-расчетная часть

2.1 Выбор электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям

По технологическим условиям для получения непрерывно качественного агломерата электропривод агломашины должен работать в длительном режиме, что облегчает расчет мощности электропривода и делает ненужным проверки электродвигателей. Расчет мощности привода агломашины состоит из двух основных этапов. Первый этап, расчет мощности двигателя привода аглоленты. Для облегчения расчетов распределим нагрузку по участкам агломашины, то есть, разделим агломашину на участки разной длины, что приведено на рисунке 2.

Окружные усилия на звездочке электропривода складываются из следующих усилий :

1. Усилия на подъем тележек на участке АБ;
2. Усилия на продвижение тележек на участке БД;
3. Усилия на продвижение тележек на участке ДС под горнами;
4. Усилия на преодоление трения в торцевых уплотнениях;
5. Усилия на продвижение тележек на участке СЕ;
6. Усилия от давления тележек на нижней наклонной части, направляющих средней части на участке НА.

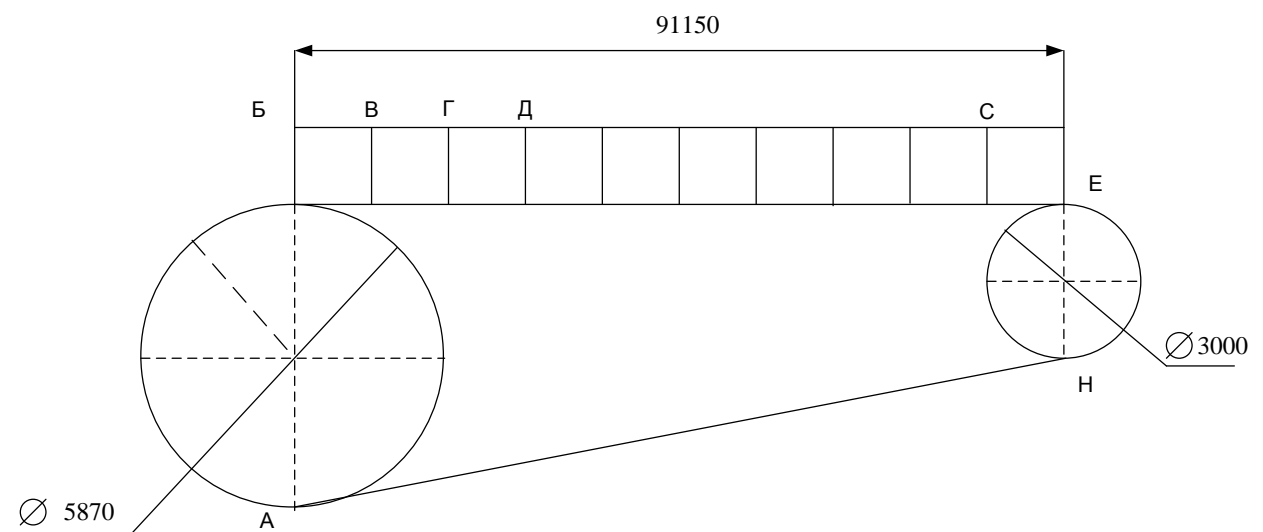


Рисунок 2. Распределение нагрузки по участкам агломашины.

Мощность главного привода ленты рассчитывается с учетом использования всей рабочей площади ленты машины только для спекания.

Сначала рассчитывается распределение спекательных тележек по ленте машины:

1. Количество незаполненных тележек на участке БВ рассчитывается по выражению

$$n_1 = \frac{L_{\text{БВ}}}{r} = \frac{2450}{1500} = 1.5 \text{ шт.}$$

где $L_{\text{БВ}}$ - длина участка БВ ($L_{\text{БВ}}=2450$ мм.);

r - радиус звездочки разгрузочной части ($r=1500$ мм.).

2. Количество тележек на участке ВГ и ГД, где насыпаются первый и второй слой шихты, рассчитывается по выражению

$$n_2=n_3= L_{\text{ВГ}} / r = 2.5 \text{ шт.},$$

где $L_{\text{ВГ}}$ - длина участка ВГ ($L_{\text{ВГ}}=3800$ мм.);

$L_{\text{ГД}}$ - длина участка ГД ($L_{\text{ГД}}=3800$ мм.).

3. Количество тележек на участке ДС, где происходит спекание, рассчитывается по выражению

$$n_4 = \frac{L_{\text{ДС}}}{r} = \frac{78000}{1500} = 52 \text{ шт.},$$

где $L_{\text{ДС}}$ - длина участка ДС ($L_{\text{ДС}}=78000$ мм.).

4. Количество тележек на участке СЕ, где происходит охлаждение агломерата, рассчитывается по выражению

$$n_5 = \frac{L_{CE}}{r} = \frac{3150}{1500} = 2 \text{ шт.},$$

где L_{CE} - длина участка CE ($L_{CE}=3150$ мм.).

5. Количество тележек на участке АБ, рассчитывается по выражению

$$n_6 = \frac{3.14 \cdot D_{HO}}{2 \cdot r} = \frac{3.14 \cdot 5870}{2 \cdot 1500} = 6 \text{ шт.},$$

где D_{HO} - диаметр наружной окружности приводной звездочки ($D_{HO}=5870$ мм.).

6. Количество тележек на участке ЕН, рассчитывается по выражению

$$n_7 = \frac{3.14 \cdot D'_{HO}}{2 \cdot r} = \frac{3.14 \cdot 3000}{2 \cdot 1500} = 3 \text{ шт.},$$

где D'_{HO} - диаметр наружной окружности звездочки ($D'_{HO}=3000$ мм.).

7. Количество тележек на наклонной части агломашины на участке НА, рассчитывается по выражению

$$n_8 = \frac{L_M}{r \cdot \cos \alpha} = \frac{91150}{1500 \cdot 0.996} = 61 \text{ шт.},$$

где

L_M - длина агломашины по частям звездочки ($L_M=91150$ мм.);

α - угол наклона холостой ветви агломашины ($\alpha=1^\circ 5' 13''$).

8. Общее количество спекательных тележек на агломашине определяется по выражению

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8$$

$$n=1.5+2.5+52+2+6+3+61=130 \text{ шт.}$$

Теперь определяем усилия на преодоление трения качения ходовых роликов по рельсам и трения в цапфах на горизонтальном пути.

1) На участке БВ это усилие определяется по формуле:выражению

$$A_1 = \frac{Q_T \cdot n_1 \cdot (\mu \cdot d + 2 \cdot f)}{D} \cdot \beta =$$

$$= \frac{688662.2 \cdot 0.01 \cdot 11 + 2 \cdot 0.05}{30} \cdot 1.3 = 1253 \text{ Н,}$$

где Q_T - вес порожней тележки ($Q_T=68866.2 \text{ Н}$);

n_1 - количество паллет на участке БВ ($n_1=2 \text{ шт.}$);

μ - приведенный коэффициент трения в подшипниках качения ($\mu=0.01$);

f - коэффициент трения качения роликов о рельсы путей направляющих ($f=0.05$);

β - коэффициент, учитывающий трение ребер роликового рельса путей ($\beta=1.3$);

D - диаметр ролика ($D=30 \text{ мм.}$);

d - диаметр подшипника качения ($d=11 \text{ мм.}$).

2) На участке ВГ тележки заправляются одним слоем шихты и усилия определяются по выражению

$$A_2 = \frac{\left(Q_T + \frac{Q_2}{2} \right) \cdot (\mu \cdot d + 2 \cdot f \cdot n_2)}{D} \cdot \beta =$$

$$= \frac{68866.2 + \frac{38112}{2} \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2.5}{30} \cdot 1.3 = 2000 \text{ Н,}$$

где

Q_2 - вес шихты на тележке, определяем по выражению

$$Q_2 = F \cdot H \cdot \gamma \cdot 9.81 = 6 \cdot 0.35 \cdot 1.85 \cdot 10^3 \cdot 9.81 = 38112 \text{ Н,}$$

где

F - площадь спекательной тележки ($F=6 \text{ м}^2$);

H - высота спекательного слоя ($H=0.35 \text{ м}$);

γ - плотность шихты ($\gamma=1.85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

3) На участке ГД на тележки насыпается второй слой шихты, и усилие определяется по выражению

$$A_3 = \frac{Q_T + Q_2 \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_3}{D} \cdot \beta = \frac{68866.2 + 38112 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2.5}{30} \cdot 1.3 = 2434 \text{ Н.}$$

4) На участке ДС происходит спекание шихты, и усилие определяется по выражению

$$A_4 = \frac{Q_T + Q_2 + p \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_4}{D} \cdot \beta$$
$$A_4 = \frac{68866.2 + 38112 + 64746 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 5.2}{30} \cdot 1.3 = 81260 \text{ Н,}$$

где

p - давление на одну спекательную тележку от разряжения под ней, это давление определяется по выражению

$$p = p' \cdot 9.81,$$

где

p' - разряжение под спекательной тележкой ($p'=0.66 \cdot 10^4$).

$$p = 0.66 \cdot 10^4 \cdot 9.81 = 64746 \text{ Н}$$

5) На участке СЕ усилие определяется по выражению

$$A_5 = \frac{Q_T + Q_2 \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_5}{D} \cdot \beta$$
$$= \frac{68866.2 + 38112 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2}{30} \cdot 1.3 = 1947 \text{ Н.}$$

Подъемное усилие гидроуплотнения, которое действует на одну спекательную тележку, определяется по выражению

$$p'' = (2 \cdot b \cdot l \cdot p_y) - k = (2 \cdot 150 \cdot 1.9 \cdot 9.8) - 736 = 4856 \text{ Н,}$$

где

l - длина спекательной тележки ($l=150$ см) ;

b - ширина поверхности соприкосновения ($b=1.9$ см) ;

κ - вес пластин гидроуплотнения, приходящихся на одну спекательную тележку ($\kappa=736$ Н) ;

p_y - усилие гидроуплотнения ($p_y=9.8$ Н/см²).

Усилие на преодоление сопротивления движения спекательных тележек от гидроуплотнения на участке ДС определяется по выражению

$$A_6 = p'' \cdot n_4 \cdot \mu_1 = 4856 \cdot 52 \cdot 0.15 = 37876 \text{ Н},$$

где

μ_1 - коэффициент трения скольжения стали по чугуну при незначительной смазке поверхности скольжения ($\mu_1=0.15$) ;

Суммарное усилие, необходимое для продвижения спекательной тележки по верхнему горизонтальному пути, определяется по выражению

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \\ = 1253 + 2000 + 2434 + 81260 + 1947 + 37876 = 126770 \text{ Н}.$$

Крутящий момент на приводной звездочке, для продвижения паллет по горизонтальному пути, определяется по выражению

$$M_1 = A \cdot R_{НО} = 126770 \cdot 2935 \cdot 10^{-3} = 372.1 \text{ кНм}.$$

Теперь определяем все усилия на подъем тележек на участке АБ, то есть на приводной звездочке. Этот момент определяется по выражению

$$M_2 = G \cdot R_{ПЛ} \cdot \sum_1^n \sin[\pi/n \cdot (b-1) + \alpha],$$

где

G - вес порожней тележки ($G=Q_T$) ;

$R_{ПЛ}$ - радиус линии подъема тележки—это расстояние от оси звездочки до центра тяжести порожней тележки, этот радиус определяется по формуле:

$$R_{\text{ПЛ}} = R_{\text{ОР}} + h_{\text{ЦП}} = 2.88 + 0.27 = 3.15 \text{ м},$$

где

$R_{\text{ОР}}$ - радиус оси роликов тележки, определяется по выражению

$$R_{\text{ОР}} = R_{\text{НО}} \cdot \cos 10^\circ 20' = 2.935 \cdot 0.984 = 2.88 \text{ м},$$

где

$R_{\text{НО}}$ - радиус приводной звездочки ($R_{\text{НО}} = 2.935 \text{ м}$);

$h_{\text{ЦП}}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней тележки ($h_{\text{ЦП}} = 0.27 \text{ м}$);

n - количество тележек на звездочке ($n = 6$);

b - номер тележки, который меняется от 1 до 6;

α - угол поворота звездочки относительно заранее принятого начального положения.

Из исследования максимума функции, максимальный момент, который необходим для определения мощности привода будет при $\alpha = 0$, при начальном угле равном $\pi/2 \cdot n$ имеем следующее выражение

$$\begin{aligned} M_2 &= G_T \cdot R_{\text{ПЛ}} \cdot \sum_1^n \sin\left(\frac{\pi}{n} \cdot (b - 0.5)\right) = \\ &= 68.8662 \cdot 3.15 \cdot [\sin(\pi/6 \cdot 0.5) + \sin(\pi/6 \cdot 1.5) + \sin(\pi/6 \cdot 2.5) + \\ &\quad \sin(\pi/6 \cdot 3.5) + \sin(\pi/6 \cdot 4.5) + \sin(\pi/6 \cdot 5.5)] = \\ &= 217 \cdot (\sin 15 + \sin 45 + \sin 75 + \sin 75 + \sin 45 + \sin 15) = \\ &= 838.6 \text{ кНм}. \end{aligned}$$

На рисунке 3. представлены следующие силы, действующие на тележку, находящуюся на нижней ветви агломашины.

1) Q_T - вес спекательной тележки ;

2) N - сила тяжести, действующая на пути направляющих, она определяется по формуле:

$$N = Q \cdot \cos 1^\circ 5' 15'' = 68866.2 \cdot 0.9998 = 68853.8 \text{ Н}$$

T - движущая сила, действующая на одну тележку, определяется по выражению

$$T = Q \cdot \sin 1^\circ 5' 13'' = 68866.2 \cdot 0.0189 = 1306 \text{ Н.}$$

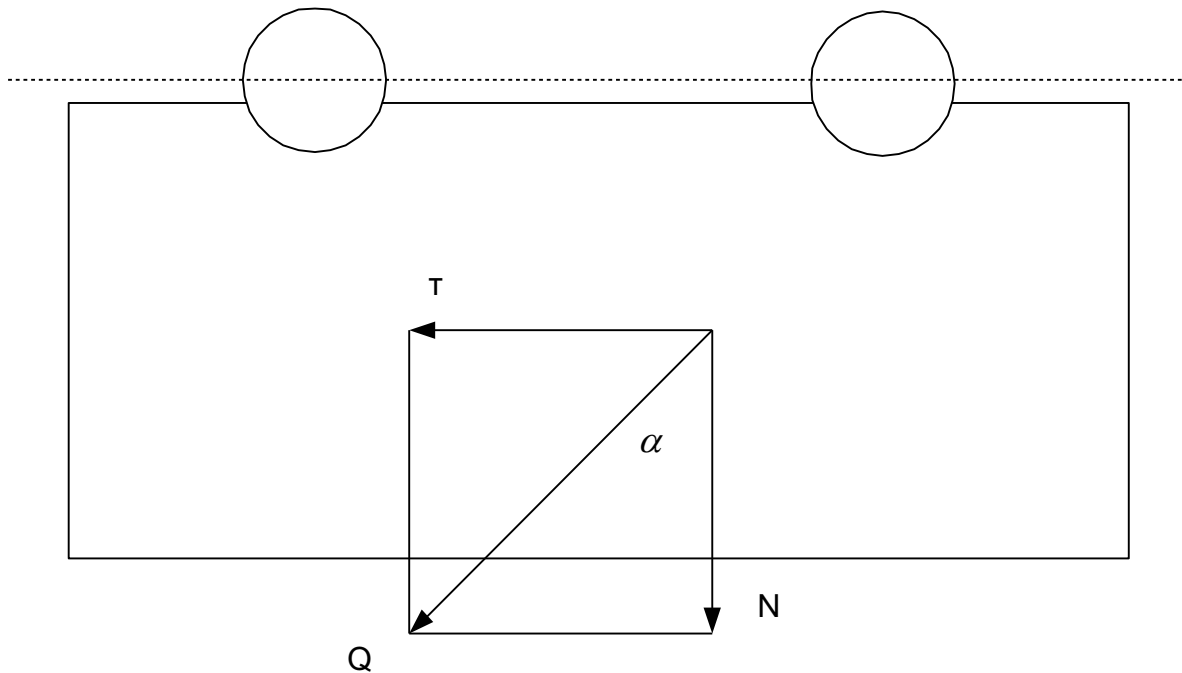


Рисунок 3. Распределение сил, действующих на тележку агломашины.

Сила сопротивления движению одной спекательной тележки определяется по выражению

$$T_1 = \frac{N \mu \cdot d + 2 \cdot f}{D} \cdot \beta = \frac{68853.8 \cdot 0.01 \cdot 11 + 2 \cdot 0.05}{30} \cdot 1.3 = 626 \text{ Н.}$$

Скатываясь по наклонному пути спекательные тележки создают силу давления на зубья звездочек, способствующую приводному моменту, эта сила определяется по выражению

$$P_{\text{изб}} = (T - T_1) \cdot n_8 = (1306 - 626) \cdot 61 = 41480 \text{ Н.}$$

Теперь определим суммарный крутящий момент на приводной звездочке без учета влияния изменения момента на разгрузочной звездочке по выражению

$$M_{1\Sigma} = M_1 + M_2 - M_3 ,$$

где

M_3 - крутящий момент от избыточной силы давления на приводной

звездочке, который определяется по выражению

$$M_3 = P_{\text{изб}} \cdot R_{\text{но}} = 41.48 \cdot 2.935 = 121.7 \text{ кНм}$$

$$M_{1\Sigma} = 372.1 + 838.6 - 121.7 = 1089 \text{ кНм.}$$

Максимальный крутящий момент на разгрузочной части определяется по выражению

$$M_{\text{MAX}} = G_T \cdot R_{\text{пл } 1,2} \cdot \sum_1^n \sin \left[\frac{\pi}{n} \cdot (b - 0.5) \right] \quad (2.1)$$

Момент на разгрузочной звездочке равен сумме моментов, определяется по выражению

$$M_p = M_{\text{MAX } 1} + M_{\text{MAX } 2}, \quad (2.2)$$

где

$M_{\text{MAX } 1}$ - момент, создаваемый груженными тележками, которые находятся на верхней ветви разгрузочной звездочки ;

$M_{\text{MAX } 2}$ - момент, создаваемый порожними тележками, находящимися на нижней ветви разгрузочной звездочки после сброса агломерата.

Определим расстояние от центра звездочки до центра тяжести порожней и груженной тележки, соответственно по выражениям

$$R_{\text{пл1}} = R'_{\text{ор}} + k_{\text{цт1}} = 1.4 + 0.44 = 1.84 \text{ м};$$

$$R_{\text{пл2}} = R'_{\text{ор}} + k_{\text{цт2}} = 1.4 + 0.27 = 1.67 \text{ м},$$

где

$R'_{\text{ор}}$ - радиус оси роликов, определяется по выражению

$$R'_{\text{ор}} = R'_{\text{но}} \cdot \cos 20^\circ 30' = 1.5 \cdot 0.9333 = 1.4 \text{ м}$$

$k_{\text{цт}}$ - расстояние до центра тяжести тележки от оси роликов, это расстояние разное для порожней и для груженной тележки;

$k_{\text{цт1}}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести груженной тележки ($k_{\text{цт1}} = 0.44 \text{ м}$) ;

$k_{\text{цт2}}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней

тележки ($k_{цт2}=0,27$ м).

Подставляя полученные данные, в (2.1), получим значения двух максимальных моментов при условии, что значения для каждого G различны:

$$M_{\max 1}=106,978805 \cdot 1,84[\sin \frac{\pi}{3}(1-0,5)+\sin \frac{\pi}{3}(2-0,5)]=295,3 \text{ кНм}$$

$$M_{\max 2}=68,8662 \cdot 1,67[\sin \frac{\pi}{3}(1-0,5)+\sin \frac{\pi}{3}(2-0,5)]=57,5 \text{ кНм}$$

Подставляя полученные значения моментов, в (2.2), находим значение момента на разгрузочной звездочке:

$$M_p=295,3+57,5=352,8 \text{ кНм.}$$

Наряду с максимальным крутящим моментом на звездочке создается и минимальный крутящий момент, который создается так же от двух тележек, он рассчитывается аналогичным образом:

$$M_{\min 1}=106,978805 \cdot 1,84 \cdot \sin 60^{\circ}=170,5 \text{ кНм;}$$

$$M_{\min 2}=68,8662 \cdot 1,67 \cdot \sin 60^{\circ}=99,6 \text{ кНм;}$$

$$M_{p \min}=170,5+99,6=270,1 \text{ кНм.}$$

При условии создания тормозной машиной постоянного момента, равному максимальному крутящему моменту на приводную звездочку, определяется тормозной избыточный момент, который равен:

$$M_{\text{изб}}=M_p-M_{p \min}=352,8-270,1=82,7 \text{ кНм.}$$

Избыточный момент создает на приводной звездочке дополнительное усилие, которое определяется по выражению

$$F_{\text{изб}}=M_{\text{изб}}/R'_{\text{но}}=82,7/1,5=54,9 \text{ кН.}$$

Дополнительный момент на приводной звездочке, создаваемый дополнительным усилием равен:

$$M_4=F_{\text{изб}} \cdot R_{\text{но}}=54,9 \cdot 2,935=161 \text{ кНм.}$$

Суммарный момент действующий на звездочке головного привода, определяется по выражению

$$M_{2\Sigma}=M_{1\Sigma}+M_4=1089+161=1250 \text{ кНм.}$$

Требуемая мощность привода головной части, определяется по выражению

$$P_{\text{тр}} = \frac{i_{2\Sigma} \cdot n_a}{9550 \cdot \eta} \cdot 1.2 = \frac{1250 \cdot 10^3 \cdot 0.406}{9550 \cdot 0.92} = 69 \text{ кВт}$$

где

1.2 - коэффициент, учитывающий увеличение мощности в динамическом режиме ;

η - общий коэффициент полезного действия ($\eta=0.92$) ;

n_B - скорость вращения звездочки, определяется по выражению

$$n_B = \frac{V_T}{\pi \cdot D_{\text{НО}}} = \frac{6.9}{3.14 \cdot 5.870} = 0.372 \text{ об/мин},$$

где

V_T - скорость движения спекательных тележек ($V_T=6.9$ м/мин).

Максимальная скорость электропривода

$$n_{\text{элмакс}} = n_B \cdot i_{\text{ред}} = 0.372 \cdot 1448 = 538.13 \text{ об/мин}$$

или

$$\omega_{\text{элмакс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{элмакс}}}{30} = 56.35 \text{ рад/с}$$

Момент инерции механизма приведенный к валу двигателя определяется по выражению

$$J_{\text{МЕХ ПР}} = m \cdot (V_T / \omega)^2 = 1417650 \cdot (0.125 / 56.52)^2 = 6.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.,$$

где

m – масса механизма (спекательных тележек);

ω – скорость вращения двигателя;

V_T – скорость движения спекательных тележек.

Эквивалентный момент инерции двигателя и механизма приведенный к валу двигателя определяется по выражению

$$J_3 = J_{\text{ДВ}} + J_{\text{МЕХ ПР}} = 27.5 \cdot 6.8 = 34.3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Исходя из рассчитанной мощности и скорости двигателя выбираем краново-металлургический двигатель постоянного тока серии Д, с запасом по мощности, тип Д818.[6]

Технические данные и параметры выбранного электродвигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1- Паспортные и расчетные параметры электродвигателя

Наименование величины	Обозначение величины	Значение
Номинальная мощность, кВт	P_n	85
Номинальное напряжение, В	U_n	440
Номинальный ток, А	I_n	210
Номинальная угловая скорость, об/мин	n_n	540
Активное сопротивление двигателя, Ом	$R_{\text{дв}}$	0,12
Индуктивность двигателя, Гн	$L_{\text{дв}}$	0,0016
Максимальный ток, А	$I_{\text{дв.мак}}$	525
Номинальный момент двигателя, Н·м	M_n	1500
Момент инерции двигателя, кг·м ²	$J_{\text{дв}}$	27.5
Допустимая перегрузка по току	λ	2,5

Расчетные параметры электродвигателя

Сопротивление двигателя в горячем состоянии, определяется по выражению

$$R_{\text{дв.гор}} = 1.3 \cdot R_{\text{дв}} = 1.3 \cdot 0,12 = 0,156 \text{ Ом.}$$

Номинальная угловая скорость, определяется по выражению

$$\omega_n = \pi \cdot n_n / 30 = 3.14 \cdot 540 / 30 = 56,52 \text{ рад/с.}$$

Коэффициент ЭДС (В*с/рад) и электромагнитного момента двигателя

$$c = (U_n - I_n \cdot R_{\text{дв.гор}}) / \omega_n = (440 - 210 \cdot 0,156) / 56,52 = 7,2 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Максимально допустимый ток двигателя

$$I_{\text{дв. макс}} = 2,5 \cdot 210 = 525 \text{ А}$$

Электромагнитная постоянная времени цепи двигателя

$$T_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{дв}}}{R_{\text{дв}}} = \frac{0.0016}{0.156} = 0.01026 \text{ с.}$$

2.2 Выбор тиристорного преобразователя

На основании параметров трансформатора и двигателя: $U_{\text{н дв}} = 440 \text{ В}$ и $I_{\text{н дв}} = 210 \text{ А}$, выбираем тиристорный преобразователь серии КТЭ 320/440 – 0111 – УХЛ4.

С параметрами: $U_{\text{дн}} = 440 \text{ В}$; $I_{\text{дн}} = 320 \text{ А}$

Перегрузочная способность ТП

$$I_{\text{ТП.макс}} = 2,25 \cdot I_{\text{н}} = 2,25 \cdot 320 = 720 \text{ А,}$$

что больше допустимого тока двигателя

$$I_{\text{дв.макс}} = 525 \text{ А.}$$

Тиристорный преобразователь удовлетворяет заданным техническим требованиям.

2.3.Выбор трансформатора

В состав комплектного тиристорного преобразователя входит согласующий силовой трансформатор для питания вентильного преобразователя, его выбор производим по [5].

Расчетное значение фазовой ЭДС вентильной обмотки трансформатора выбираем по условию обеспечения заданной максимальной скорости электропривода при пониженном напряжении сети и номинальном токе двигателя

$$E_{2ф\text{ расч}} = k_{u2ф} \cdot k_{\alpha} \cdot \frac{1}{k_{uc}} (1 + k_R) \cdot U_{дв\text{ макс}} \text{ В}$$

где

$$U_{дв\text{ макс}} = c \cdot w_{\text{ЭП макс}} + I_{дв\text{ ном}} \cdot R_{дв\text{ гор}} = 7,2 \cdot 56,52 + 210 \cdot 0,156 = 439,66 \text{ В}$$

максимальное напряжение на двигателе при максимальном токе и

максимальной скорости привода, В

$k_{u2ф}$ -коэффициент семы, [7].

$$k_{u2ф} = 0,428$$

$k_{\alpha} = 1/\cos\alpha_{\text{мин}}$ -коэффициент запаса, учитывающий неполное

открытие тиристорov преобразователя;

$\alpha_{\text{мин}}$ -минимальный угол управления преобразователя. Для не реверсивных преобразователей с отдельным управлением можно принять

$$\alpha_{\text{мин}} = 10^{\circ}$$

k_{uc} -коэффициент запаса по напряжению: $k_{uc} = 0.85$;

k_R - коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в тиристорах, обмотках трансформатора, а также за счет коммутации, $k_R = 0,05$

$$E_{2ф\text{ расч}} = 0,428 \cdot 1,0188 \cdot \frac{1}{0,85} \cdot (1 + 0,05) \cdot 439,66 = 236,8 \text{ В.}$$

Расчетное действующее значение фазного тока вентильной обмотки

$$I_{2ф\text{ расч}} = k_i \cdot k_{i2ф} \cdot I_{дв\text{ н}} = 1,05 \cdot 0,815 \cdot 210 = 179,7 \text{ А.}$$

где

k_i --коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной, $k_i = 0,815$, [7].

$k_{i2ф}$ -коэффициент схемы выпрямления по току вторичной обмотки, $k_{i2ф}=0,815$ (табл.5.1).

Расчетная типовая мощность трансформатора

$$S_{тр\ расч} = k_s \cdot \frac{E_{2ф\ расч}}{k_{u2ф}} \cdot k_i \cdot I_{дв\ н} = 1,045 \cdot \frac{236,8}{0,428} \cdot 1,05 \cdot 210 = 127519 \text{ В} \cdot \text{А}$$

где

k_s -коэффициент схемы выпрямления по мощности, $k_s=1,045$, [7].

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме рабочей перегрузки двигателя,

$$S_{тр\ макс} = k_s \cdot (1 + k_R \cdot \frac{I_{доп}}{I_{дв\ н}} \cdot k_i \cdot P_{дв\ макс}) = 1,045 \left(1 + 0,05 \frac{525}{210} \right) \cdot 1,05 \cdot 256620 = 316774$$

где

$$P_{дв\ макс} = U_{дв\ макс} \cdot I_{доп} = 488,8 \cdot 525 = 256620 \text{ В} \cdot \text{А}$$

-максимальная мощность потребляемая двигателем в режиме рабочей перегрузки при скорости $w_{эп\ макс}$.

$$U_{дв\ макс} = c \cdot w_{эп\ макс} + I_{доп} \cdot R_{дв\ гор} = 7,2 \cdot 56,52 + 2,5 \cdot 210 \cdot 0,156 = 488,8 \text{ В}$$

Выбираем трансформатор типа ТСЗП-250/0,7УЗ со следующими номинальными данными, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 Номинальные данные трансформатора

Наименование величины	Обозначение величины	Значение
Номинальная мощность трансформатора, кВ*А	$P_{н.т}$	235

Фазное напряжения вторичной обмотки трансформатора, В	$U_{2\phi}$	240,46
Линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В	$U_{2л}$	416
Линейное напряжение первичной обмотки трансформатора, кВ	$U_{1л}$	6
Относительное напряжение короткого замыкания трансформатора	$U_{к.з\%}$	4,7
Фазный ток вторичной обмотки трансформатора, А	$I_{2\phi}$	326
Активная мощность потерь к. з. в обмотках трансформатора, Вт	$\Delta P_{кз}$	3700

Проверка:

$$S_{тр} > S_{тр \text{ расч}}$$

$$235 \text{ кВ} \cdot \text{А} > 127519 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$S_{тр} > S_{тр \text{ расч}} / \lambda_{тр}$$

$$235 \text{ кВ} \cdot \text{А} > 316774 / 2,5 = 126709 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$U_{2н} > \sqrt{3} E_{2\phi \text{ расч}} = \sqrt{3} \cdot 236,8 = 410 \text{ В}$$

$$440 \text{ В} > 410 \text{ В}$$

$$I_{2\phi} > I_{2\phi \text{ расч}}$$

$$326 \text{ А} > 179,7 \text{ А}$$

Трансформатор соответствует заданным техническим требованиям.

Расчетные параметры трансформатора

Сопротивление трансформатора на фазу, определяется по выражению

$$Z_{\text{тр.ф}} = \frac{U_{\text{К.З.}\%} \cdot U_{2\text{фф}}}{100 \cdot I_{2\text{фф}}} =$$

$$= \frac{4.7 \cdot 240.46}{100 \cdot 326} = 0.0347 \text{ Ом.}$$

Активная составляющая сопротивления трансформатора, определяется по выражению

$$R_{\text{тр.ф}} = \frac{\Delta P_{\text{К.З.}}}{m_2 \cdot I_{2\text{фн}}^2} =$$

$$= \frac{3700}{3 \cdot 326^2} = 0.0116 \text{ Ом.}$$

Реактивная составляющая сопротивления трансформатора, определяется по выражению

$$X_{\text{тр.ф}} = \sqrt{Z_{\text{тр.ф}}^2 - R_{\text{тр.ф}}^2} =$$

$$= \sqrt{0.0347^2 - 0.0116^2} = 0.0327 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фазы трансформатора, определяется по выражению

$$L_{\text{од.ф}} = \frac{X_{\text{од.ф}}}{\omega_{\text{н}}} =$$

$$= \frac{0.0327}{314} = 0.104 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Угловая частота питающей сети, определяется по выражению

$$\omega_{\text{н}} = 2 \cdot \pi f_{\text{н}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

$f_{\text{с}} = 50$ - частота питающей сети, Гц.

2.4 Выбор сглаживающего реактора

При питании от тиристорного преобразователя по двигателю помимо постоянной составляющей тока протекают переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки.

Это приводит к повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистых токов.

Включение сглаживающего дросселя в якорную цепь позволяет ограничивать величину переменных составляющих и, тем самым улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики, однако одновременно вызывает увеличение габаритов и веса привода, его стоимости и ухудшение динамических свойств.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов [5]:

$$L_{\hat{e}1} = \frac{1}{\omega_n} \cdot \hat{e}_{\text{а} \text{д} \text{ма} \text{х}} \cdot \frac{U_{2\hat{o}1}}{\hat{e}_{u2} \cdot I_{d \text{а} \text{д}}} =$$

$$= \frac{1}{314} \cdot 0.09356 \cdot \frac{240.46}{0.428 \cdot 31.5} = 0.0053143 \text{ Гн.}$$

где

$$\kappa_{\text{Гр} \text{ма} \text{х}} = 1 - \frac{\pi}{6} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{6} = 1 - \frac{3.14}{6} \cdot \text{ctg} \frac{3.14}{6} = 0.093$$

$I_{d \text{Гр}} = 0.15 \cdot I_{\text{Н}} = 0.15 \cdot 210 = 31.5$ - значение начально-непрерывного тока, А.

Индуктивность добавочного дросселя

$$L_{\text{др}1} = L_{\text{кн}1} - 2L_{\text{тр.ф}} - L_{\text{дв}} =$$

$$= 5.3143 \cdot 10^{-3} - 0.208 \cdot 10^{-3} - 1.6 \cdot 10^{-3} = 3.5063 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

где

$2L_{\text{тр.ф}}$ - суммарная индуктивность обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока.

Необходимая величина индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока

$$L_{\text{д}2} = \frac{\dot{A}_{\text{д}(1)\text{max}} \cdot 100}{m_{\text{а}} \cdot \omega_{\text{н}} \cdot D_{(1)\%} \cdot I_{\text{д}}} =$$

$$= \frac{136.2 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 7 \cdot 210} = 4,9178 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

где действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$ рассчитывается по выражению

$$E_{\text{д}(1)\text{max}} = \frac{U_{2\text{ф}\phi} \cdot \sqrt{2} \cdot m_{\text{в}}}{\kappa_{\text{u}2} \cdot (m_{\text{в}}^2 - 1)} =$$

$$= \frac{240.46 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0.428 \cdot (6^2 - 1)} = 136.2 \text{ В,}$$

где

$P_{(1)\%} = 7$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах.

Индуктивность сглаживающего дросселя

$$L_{\text{др}2} = L_{\text{кн}2} - 2L_{\text{тр.ф}} - L_{\text{дв}} =$$

$$= 4,9178 \cdot 10^{-3} - 0.208 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3} = 3.11 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

По полученным величинам индуктивностей выбираем дроссель типа ФРОС–65/05У3 с параметрами:

• индуктивность $L_{\text{др}}$, мГн 1,5;

- активное сопротивление, $R_{др}$ мОм 6,8;
- номинальный длительный ток, $I_{дрн}$ А 250.

2.5 Расчет параметров силовой цепи

Расчет параметров силовой цепи тиристорного преобразователя

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{ТП} = 2R_{трф} + R_k = 2 \cdot 0,0116 + 0,031 = 0,054 \text{ Ом},$$

где $R_k = \frac{m_b \cdot X_{трф}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0,0327}{2 \cdot 3,14} = 0,031 \text{ Ом}$ - сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов, Ом.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{ТП} = 2L_{тр.ф} = 2 \cdot 0,104 \cdot 10^{-3} = 0,000208 \text{ мГн}.$$

Расчет параметров якорной цепи электропривода

Сопротивление цепи двигателя

$$R_{цдв} = R_{дв.гор} + R_{др} = 0,156 + 0,0068 = 0,1628 \text{ Ом}$$

Сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{цдв} + R_{ТП} = 0,1628 + 0,054 = 0,2168 \text{ Ом}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + L_{др} + L_{ТП} = 0,0016 + 0,0015 + 0,0002 = 0,0033 \text{ мГн}$$

Электромагнитная постоянная якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{3,3 \cdot 10^{-3}}{0,2168} = 0,0152 \text{ с}.$$

Электромеханическая постоянная времени электропривода:

$$T_M = \frac{J \cdot R_{яц}}{c^2} = \frac{34.3 \cdot 0.2168}{7.2^2} = 0.143 \text{ с.}$$

Определим отношение постоянных

$$\frac{T_M}{T_{яц}} = \frac{0.143}{0.0152} = 9.4$$

Полученное отношение более 4, что говорит о слабом влиянии ЭДС двигателя, потому при оптимизации не будем учитывать ЭДС двигателя.

Расчетные параметры тиристорного преобразователя

Среднее выпрямленное напряжение при угле управления $\alpha = 0^\circ$

$$E_{d0} = \frac{U_{2л}}{k_{u2л}} = \frac{416}{0.74} = 561 \text{ В}$$

Коэффициент (максимальное значение) усиления преобразователя

$$K_{тп} = \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{оп макс}} = \frac{3.14 \cdot 0.475 \cdot 561}{10} = 83.67 \text{ В}$$

где $k_{yo} = 0.475$ коэффициент передачи управляющего органа на входе СИФУ;

$$2 \cdot U_{оп макс} = 10 \text{ В амплитуда опорного напряжения СИФУ.}$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя

$$T_{тп} = \frac{0.5}{m_b \cdot f_c} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167 \text{ с}$$

Максимальный допустимый ток электропривода

$$I_{эп макс} = I_{дв макс} = 525 \text{ А}$$

2.6 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значением $\omega = \omega_{\max}$ и зависимостью $\pm I_{\hat{a}}(\omega)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь двигатель. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентилей в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме при минимальном угле управления. Поскольку проектируемый электропривод неререверсивный, то характеристика в режиме предельного инвертирования не рассчитывается. Выполнение вышеупомянутого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Такой подход может быть рекомендован при проектировании электроприводов, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей двигателей, что не является целью проектирования данного привода.

Должно выполняться следующее условие: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления α_{\min} электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами $\omega = \omega_{\max}$ и $I = I_H$.

Минимальный угол управления преобразователем

$$\alpha_{\min} = \arccos \frac{C \cdot \omega_{\max} + I_{\hat{a}} \cdot R_{\dot{\omega}}}{k_c \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{7.2 \cdot 56.52 + 210 \cdot 0.2168}{0.85 \cdot 561} = 17^\circ$$

Принимаем $\alpha_{\min} = 15^\circ$

Рассчитываем электромеханические характеристики разомкнутой

системы при $\alpha_{\min} = 15$ градусов по выражению выпрямительном режиме:

$$\omega_{\max}(I_{d\hat{a}}) = \frac{1}{\tilde{n}} \left(\kappa_{\tilde{n}} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\min} - R_{\ddot{y}\ddot{o}} \cdot I_{d\hat{a}} \right)$$

$$= \frac{1}{7.2} (0.85 \cdot 561 \cdot \cos 15^\circ - 0.2328 \cdot I_{d\hat{a}})$$

Расчет электромеханической характеристики, при $\kappa_c=1$, сведен в таблице.3., а при $\kappa_c=0,85$ в таблице 4, сами характеристики представлены на рисунке .4.

Таблица 3 Расчетные параметры электромеханической характеристики, при $\kappa_c=1$.

$\omega, \text{с}^{-1}$	74	67	57
$I_{дв}$	0	210	525

Таблица 4 Расчетные параметры электромеханической характеристики, при $\kappa_c=0,85$.

$\omega, \text{с}^{-1}$	63	56	46
$I_{дв}$	0	210	525

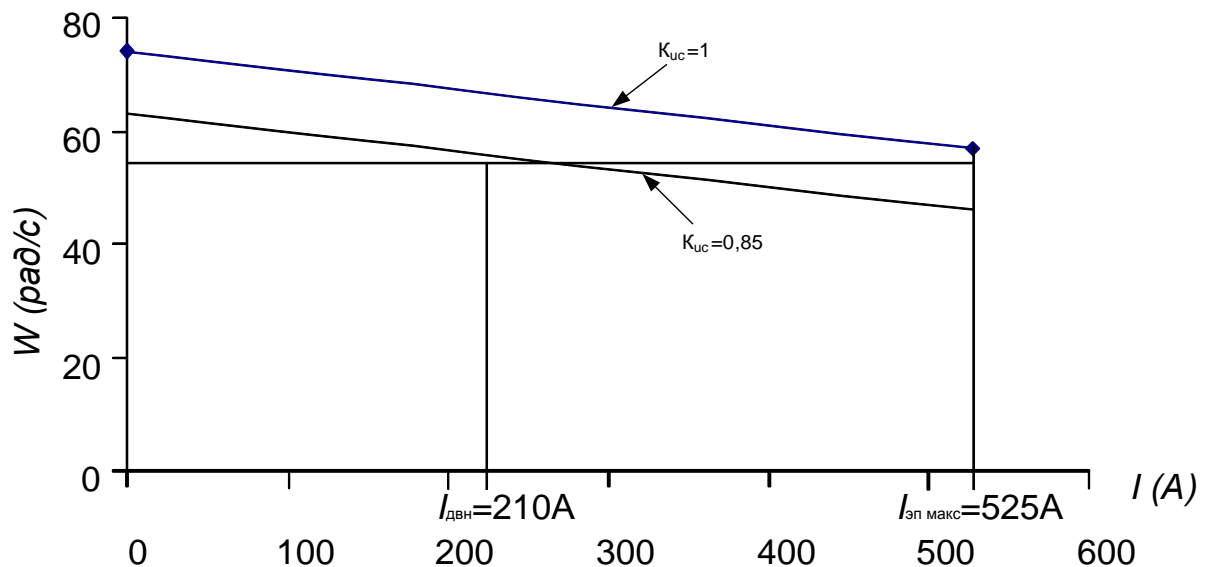


Рисунок 4- Электромеханические характеристики разомкнутой системы.

2.7 Расчет электромеханических характеристик разомкнутой системы преобразователь-двигатель

2.2 Расчёт электромеханических характеристик системы УВ-Д

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

где: $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$ – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

α – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

ΔU_{ϵ} – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла α и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_{\epsilon}} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления α в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left((\theta_0(\alpha) - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left((\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_\theta} = 60$ град – угол проводимости тиристоров;

угол θ – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности $L_{яц}$. Угол θ найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_\theta}{2 \cdot \pi} \left(\cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах $\omega = f(I)$ по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_\theta}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне 0...180) и угол проводимости λ (0...60), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 7:

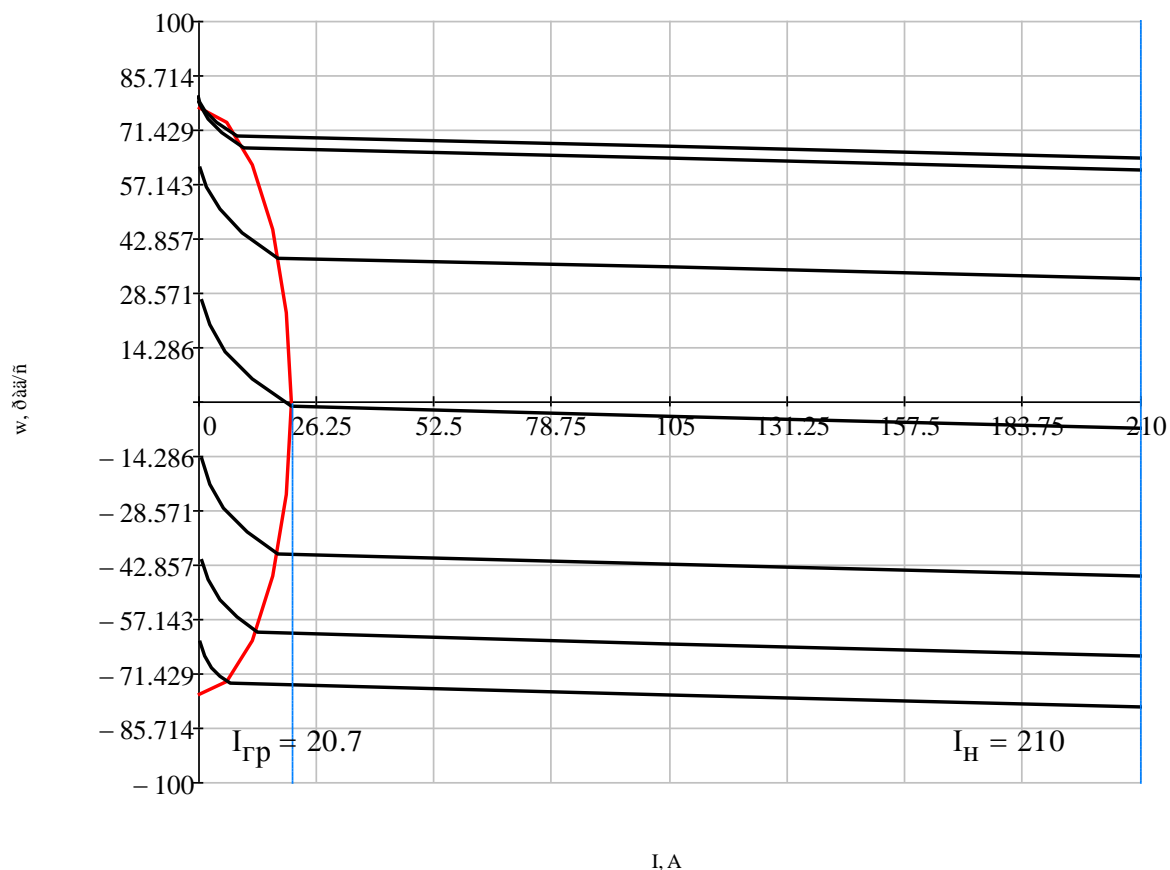


Рисунок 7 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол $\lambda = 60$ град и меняя угол управления α .

Как видно из графиков рисунка 13 отношение $\frac{I_{дгрmax}}{I_{дн}} = \frac{28,4}{274} = 0,104$,

что является приемлемым.

2.9 Структурная схема системы автоматического регулирования электропривода

Так как к электроприводу агломерационной машины не предъявляются высокие требования к статическим и динамическим характеристикам, то вместо обратной связи по скорости в системе регулирования этого привода используется обратная связь по ЭДС двигателя. Применение обратной связи по ЭДС позволяет избежать трудностей, связанных с применением тахогенераторов для измерения скорости. Электропривод агломерационной машины с обратной связью по ЭДС двигателя обеспечивает высокую жесткость механической характеристики. Следует отметить, что такая система достаточно просто реализуется, имеет высокие показатели надежности в эксплуатации, а также в них возможно ограничивать ток путем ограничения выходного напряжения регулятора ЭДС.

Структурная схема силового канала приведена на рисунке 8.

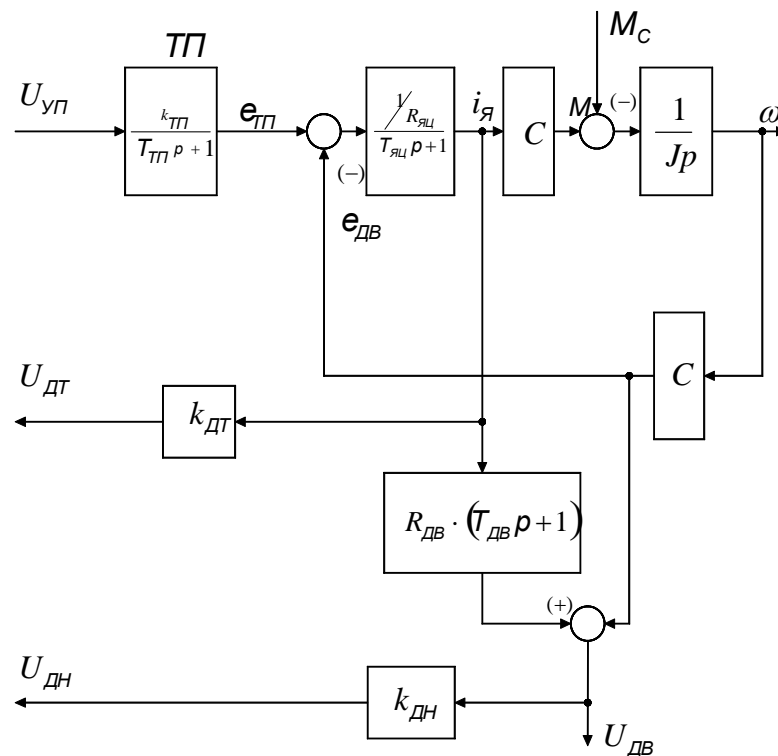


Рисунок. 8 Структурная схема силового канала

Структурная схема системы автоматического регулирования электропривода агломерационной машины представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования, представленную на демонстрационном листе и рисунке 9.

На схеме приняты следующие обозначения:

$W_{\Phi}(p) = 1/T_{\Phi}p + 1$ передаточная функция фильтра на входе РЭП;

$W_{p.эдс}(P) = K_{p.эдс}$ передаточная функция П – регулятора ЭДС;

$W_{p.т}(P) = K_{p.т} \cdot \frac{T_{p.т}p + 1}{T_{p.т}p}$ передаточная функция ПИ – регулятора

тока;

$W_{тп}(p) = \frac{K_{тп}}{T_{\mu}p + 1}$ передаточная функция тиристорного

преобразователя;

$K_{дт}, K_{от}$ коэффициенты датчика тока и обратной связи по току, соответственно.

$K_{дэ}, K_{оэ}$ коэффициенты датчика ЭДС и обратной связи по ЭДС, соответственно.

Структурная схема регулируемого электропривода (РЭП) представляет собой двухконтурную систему с внутренним контуром тока с ПИ-регулятором и внешним контуром ЭДС с П-регулятором. Обратная связь по ЭДС двигателя реализуется путем суммирования на входе датчика ЭДС двух входных сигналов, пропорциональных напряжению и падению напряжения в якорной цепи двигателя для измерения ЭДС, согласно [4].

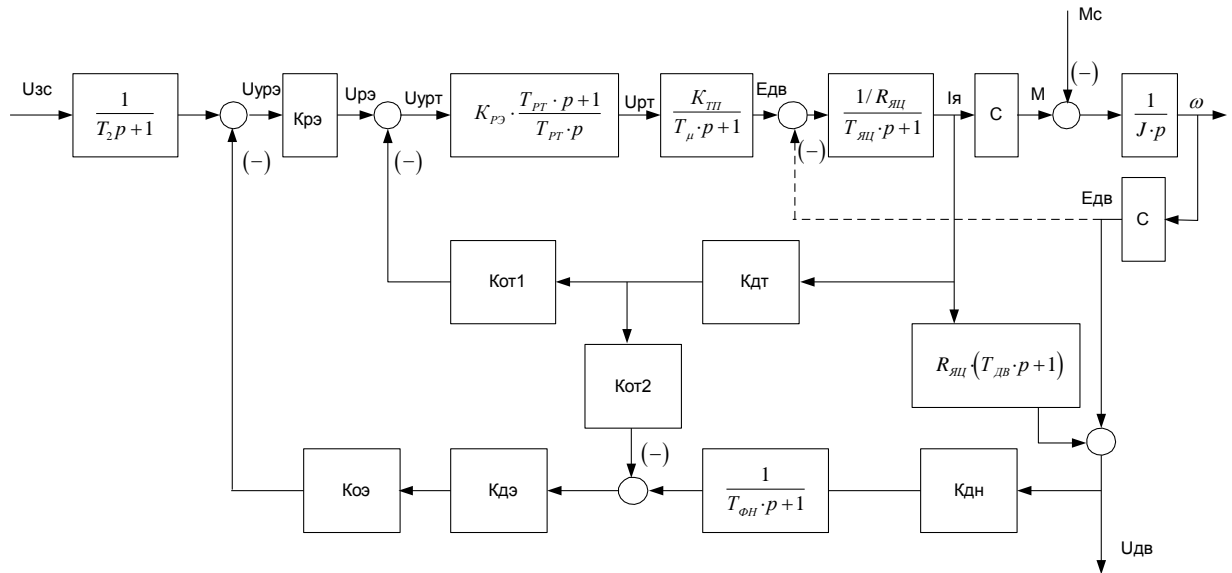


Рисунок 9 Структурная схема САР РЭП

2.10 Оптимизация контура тока

Контур тока (рисунок.10) настраивается в соответствии по МО с методикой, изложенной в [4]. Регулятор тока пропорционально-интегральный. Малая постоянная времени в контуре тока

$$T_{\mu т} = T_{тп} = 0,00167с$$

Коэффициент оптимизации контура тока а $m = 2$.

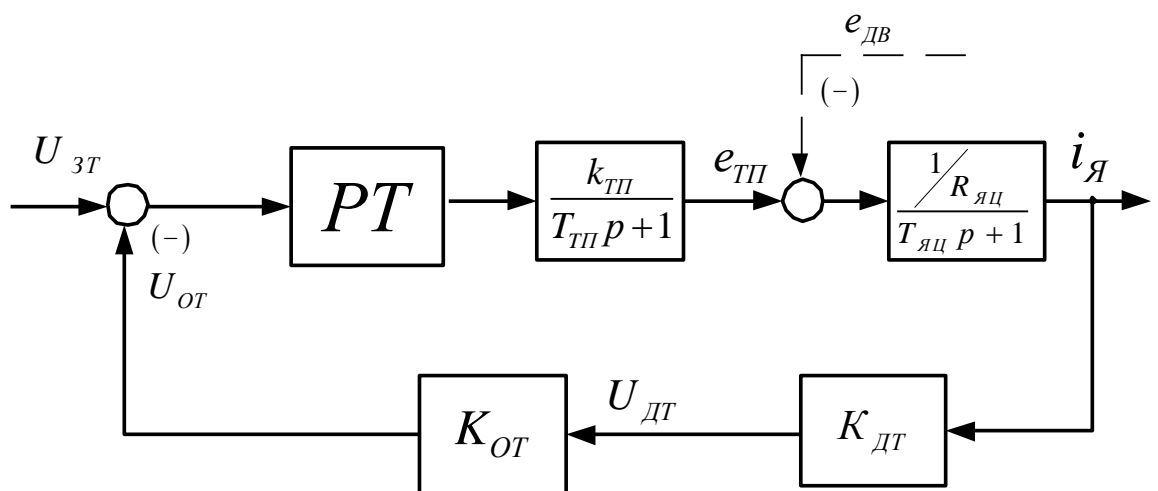


Рисунок 10 Структурная схема контура тока.

Прежде всего настройка контура производится без учета внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. Тип регулятора и метод оптимизации контура выбираются в зависимости от соотношения $T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$ (табл.7.).

Таблица 7 Тип регулятора и метод оптимизации контура

$T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$	Тип регулятора	Метод оптимизации
≤ 1	ПИ	МО [СО]
≥ 1	ПИ	СО [МО]
$\gg 1$	П [ПИ]	МО [СО]

Контур тока настраивается на технический модульный оптимум при коэффициенте оптимизации $a_T = 2 [4]$.

Установка дополнительных сглаживающих фильтров в контуре тока весьма неблагоприятно сказывается на характере процессов в контуре (приводит к снижению быстродействия как контура тока, так и электропривода в целом), поэтому установка дополнительных фильтров в контуре тока может определяться только необходимостью снижения уровня помех, и должна быть отнесена к этапу ввода электропривода в эксплуатацию.

Поскольку отрицательная обратная связь по ЭДС двигателя при определенных соотношениях параметров электропривода может оказывать существенное влияние на характер протекания переходных процессов в контуре тока [4], следует оценить ее влияние.

Отношение

$$T_M/T_{яц}=0,1434/0,0152=9.437$$

достаточно велико, что говорит о незначительном влиянии отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, потому при оптимизации контуров не

будем учитывать ЭДС двигателя (показано пунктиром на рисунке 9).

Параметры регулятора тока определяются из следующих выражений [4]:

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{PT} = T_{яц} = 0.0152с;$$

Допустимое выходное напряжение регулятора ЭДС в режиме токоограничения принимаем 10 В.

Коэффициент обратной связи по току якоря

$$k_m = k_{\partial m} \cdot k_{oc} = \frac{U_{pc \text{ доп}}}{I_{доп \text{ max}}} = \frac{10}{525} = 0,0190476 \text{ В/А};$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$K_{PT} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{K_{\Pi} \cdot K_T \cdot 2 \cdot T_{\mu}} = \frac{0,0152 \cdot 0,2168}{83,67 \cdot 0,0190476 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,281$$

Коэффициент передачи датчика тока

$$K_{DT}=0,01875.$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи по току

$$K_{OT} = K_T/K_{DT} = 0,0190476/0,01875= 1,016.$$

Передаточная функция замкнутого контура имеет вид

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{1/K_m}{2T_{\mu m} \cdot p(T_{\mu m} \cdot p + 1) + 1}.$$

При оптимизации внешнего контура ЭДС передаточная функция замкнутого контура тока упрощается до первого порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{1/K_m}{2T_{\mu m} \cdot p + 1} = \frac{1/K_m}{T_m \cdot p + 1},$$

где $Tm = 2T_{\mu m} = 2 * 0,00167 = 0,0034\text{с}$,

эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

2.11 Оптимизация контура ЭДС

Оптимизация контура ЭДС ведется по методике, описанной в [4]. Если в структурной схеме системы упрощенно описать контур тока и выполнить условие, что

$$K_{OT2} \cdot K_{DT} = R_{ДВ} \cdot K_{ДН},$$

то они преобразуются к виду, показанному на рисунке 11., где в соответствии с передаточной функцией датчика ЭДС должно быть выбрано $T_{ФН} = T_{ДВ}$. Наличие апериодического звена в цепи обратной связи вызывает необходимость включения на входе системы такого же звена при $T_2 = T_{ДВ}$ для исключения повышенного перерегулирования тока при отработке возмущения по заданию.

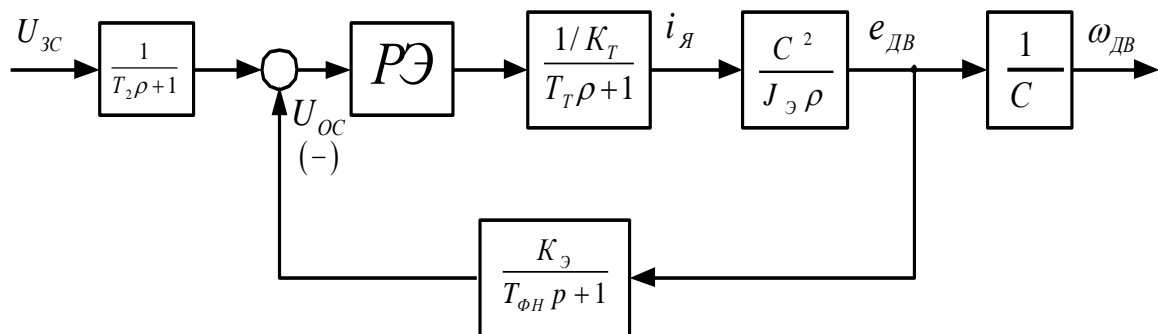


Рисунок 11 - Структурная схема линеаризованной САУ РЭП
с обратной связью по ЭДС

Контур регулирования настраивается на модульный оптимум. Регулятор ЭДС – пропорциональный. Коэффициент оптимизации $a_э = 2$

Параметры регулятора находим следующим образом.

$$T_{\mu\Omega} = T_T = 0.0034 \text{ с};$$

$$K_{\Omega} = K_{O\Omega} \cdot K_{D\Omega} \cdot K_{DH} = U_{3\text{МАКС}}/E_{ДВ\text{МАКС}} = 10/406.944 = 0.0245 \text{ В}\cdot\text{с}.$$

$$K_{D\Omega} = 1;$$

$$K_{O\Omega} = K_{\Omega} / K_{D\Omega} \cdot K_{DH} = 0.0245/1 \cdot 0.02 = 1.225$$

Тогда

$$\begin{aligned} K_{\text{рег ЭДС}} &= \frac{J_{\Omega} \cdot K_T}{K_{\Omega} \cdot C^2 \cdot a_{\Omega} \cdot (T_T + T_{ДВ})} = \\ &= \frac{34.3 \cdot 0.0190476}{0.0245 \cdot 7.2^2 \cdot 2 \cdot (0.0034 + 0.01026)} = 18,82 \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС

$$W_{\Omega \text{ зам}} = \frac{1/K_{\Omega}}{a(T_M + T_{\partial\epsilon})P[(T_M + T_{\partial\epsilon})P + 1] + 1} = \frac{40,816}{0,00037P^2 + 0,0274P + 1}$$

Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура ЭДС рассчитываются и строятся на основании приведённого выражения передаточной функций с использованием программы расчёта LACH и приведены на рисунке 12.

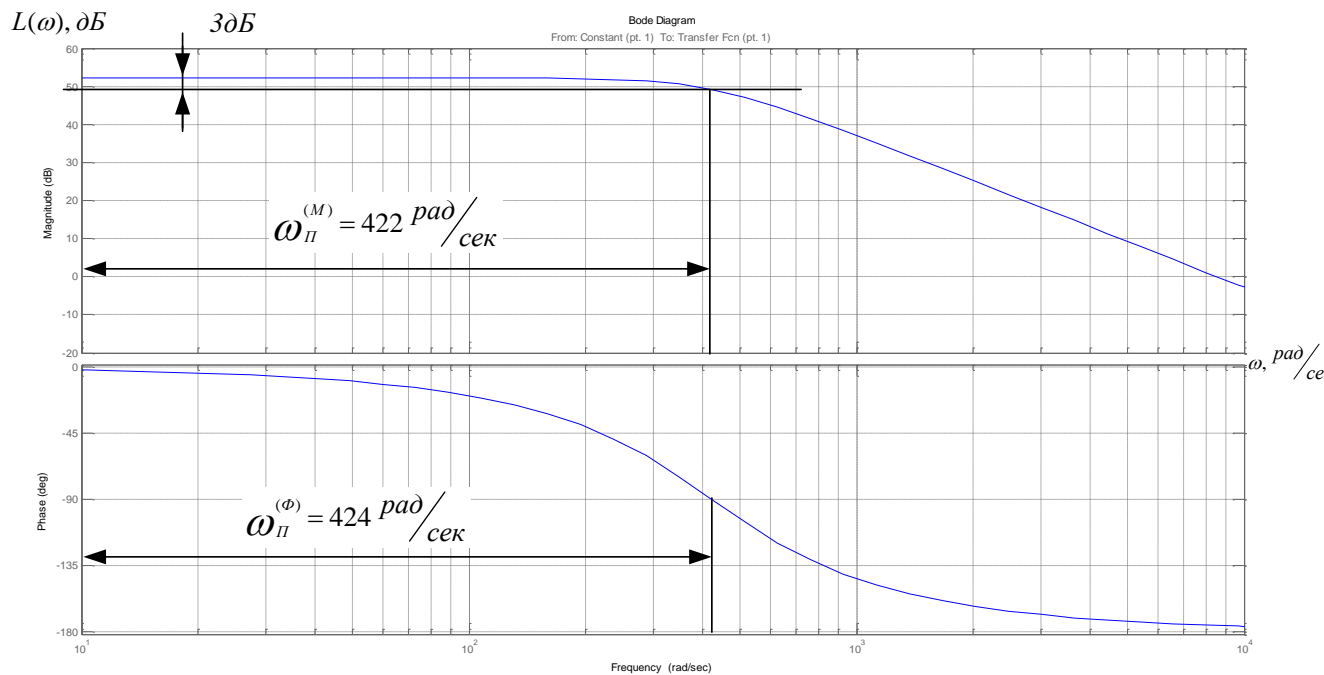


Рисунок 12 ЛАЧХ замкнутого контура ЭДС..

2.12 Расчет статических электромеханических характеристик

Данный двигатель постоянного тока управляется по цепи обмотки якоря уменьшением напряжения, следовательно, при постоянном потоке механические и электромеханические характеристики совпадают.

Механические характеристики при различном напряжении на якоре двигателя представлены на рисунке 13.

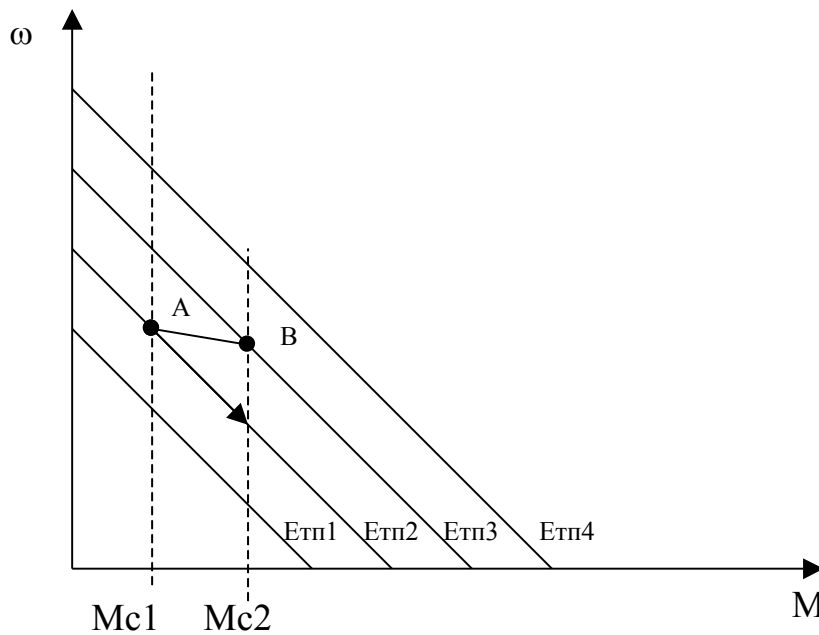


Рисунок 13 - Механические характеристики электродвигателя при различном напряжении на якоре.

Предположим что двигатель работает на характеристике $E_{тп2}$ и нагрузкой M_{c1} , то есть в точке А. Предположим, также, что нагрузка возросла и стала равной M_{c2} . В первый момент скорость двигателя падает. Уменьшается сигнал пропорциональный ЭДС двигателя (Едв.), так как:

$$E_{дв} = C * \omega$$

(1)

где: C – коэффициент ЭДС и электромагнитного момента двигателя;

ω - угловая скорость двигателя.

В реальном электроприводе сигнал пропорциональный ЭДС двигателя формируется более сложно, с помощью двух датчиков – напряжения якоря двигателя и тока якоря двигателя. Однако в любом случае если система настроена правильно сигнал по ЭДС двигателя, при постоянном потоке, пропорционален скорости двигателя.

Если в первом приближении не учитывать сигнал обратной связи по току

($U_{от}$), действующий на вход регулятора тока, то ЭДС тиристорного преобразователя ($E_{тп}$) можно определить:

$$E_{тп} = (U_{зс} - U_{оэ}) * K_{рэ} * K_{рт} * K_{тп}$$

(2)

где: $K_{рэ}$ – коэффициент передачи регулятора ЭДС;

$K_{рт}$ - коэффициент передачи регулятора тока (для ПИ регулятора, в статике, равен собственному коэффициенту усиления операционного усилителя);

$K_{тп}$ - коэффициент передачи тиристорного преобразователя;

$U_{зс}$ – напряжение задания скорости;

$U_{оэ}$ – напряжение обратной связи по ЭДС.

Как следует из (2) уменьшение сигнала обратной связи по ЭДС приводит к увеличению ЭДС тиристорного преобразователя. Привод переходит на характеристику $E_{тп3}$ в точку В, и т.д. В результате формируется характеристика замкнутой системы более жесткая, чем характеристики разомкнутой системы.

Для вывода уравнения электромеханической характеристики электропривода составим систему уравнений, которые описывают электропривод в статике:

$$U_{урэ} = U_{зс} - U_{оэ} \quad (3)$$

$$U_{оэ} = (U_{дв} * K_{дн} - K_{дт} * K_{от2} * I_{дв}) * K_{дэ} * K_{оэ} \quad (4)$$

$$U_{рэ} = K_{рэ} * U_{урэ} \quad (5)$$

$$U_{урт} = U_{рэ} - U_{от} \quad (6)$$

$$U_{от} = K_{дт} * K_{от} * I_{дв} \quad (7)$$

$$U_{рт} = K_{рт} * U_{урт} \quad (8)$$

$$E_{тп} = K_{тп} U_{рт} \quad (9)$$

$$U_{тп} = E_{тп} - I_{дв} * R_{тп} \quad (10)$$

$$U_{тп} = U_{дв} \quad (11)$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I_{дв} * R_{дв} \quad (12),$$

где: $U_{урэ}$ – напряжение управления регулятора ЭДС;

$K_{дт}$ – коэффициент передачи датчика тока;

$K_{от2}$ – коэффициент обратной связи по току в контуре регулятора ЭДС;

$I_{дв}$ – ток якоря двигателя;

$U_{дв}$ – напряжение на якоре двигателя;

$K_{дн}$ - коэффициент передачи датчика напряжения якоря двигателя;

$K_{дэ}$ - коэффициент передачи датчика ЭДС;

$K_{оэ}$ - коэффициент обратной связи по ЭДС;

$U_{рэ}$ – выходное напряжение регулятора ЭДС;

$U_{от}$ – напряжение обратной связи по току двигателя;

$K_{от1}$ - коэффициент обратной связи по току в контуре регулятора тока;

$U_{рт}$ – выходное напряжение регулятора тока;

$U_{тп}$ - выходное напряжение тиристорного преобразователя;

$R_{тп}$ – эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя;

$E_{дв}$ – противо ЭДС обмотки якоря двигателя;

$K_{дв} = 1/C = 0,139$ - коэффициент передачи двигателя.

Структурная схема силовых цепей для режима стабилизации скорости приведена на рисунке 14.

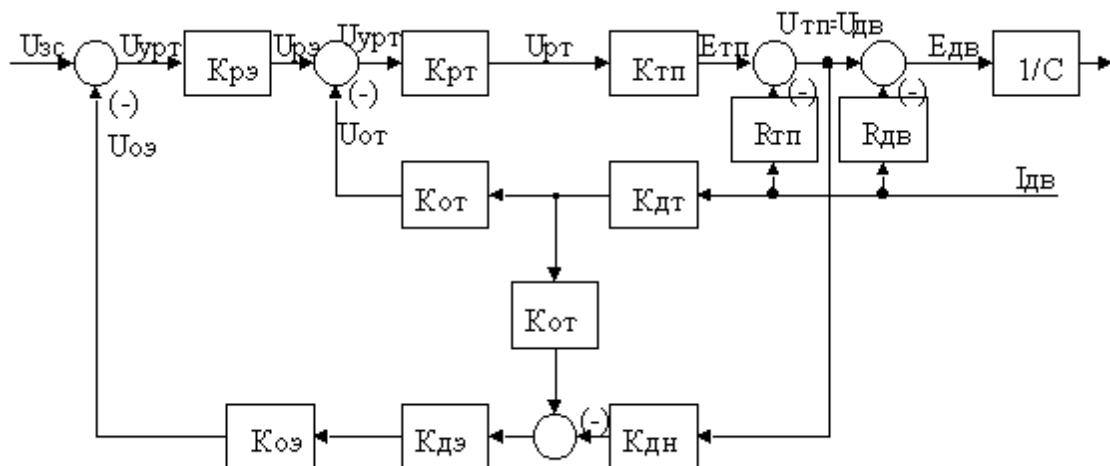


Рисунок 14 - Структурная схема силовых цепей для режима стабилизации скорости.

Решим систему уравнений (3 – 12) относительно угловой скорости двигателя:

$$\begin{aligned} \omega = & \frac{K_{дв} * K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * U_{зс}}{1 + K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * K_{дэ} * K_{оз} * K_{дн}} - \\ & - I_{дв} * K_{дв} * \left(\frac{R_{яц} + K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * K_{дэ} * K_{оз} * K_{дн} * R_{дв}}{1 + K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * K_{дэ} * K_{оз} * K_{дн}} \right) - \\ & - I * K_{дв} * \left(\frac{K_{тп} * K_{рт} * K_{дт} * K_{от1} - K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * K_{дэ} * K_{оз} * K_{дт} * K_{от2}}{1 + K_{тп} * K_{рт} * K_{рэ} * K_{дэ} * K_{оз} * K_{дн}} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

При увеличении нагрузки скорость двигателя падает и, как следует из (3), напряжение управления регулятора ЭДС растет. Как только оно достигнет значения $10/K_{рэ}$ регулятор ЭДС входит в насыщение. Отрицательная обратная связь по ЭДС отключается, стабилизация скорости в электроприводе прекращается. В схеме управления электроприводом остается действующей отрицательная обратная связь по току двигателя. Его

структурная схема для режима стабилизации тока приведена на рисунке 15.

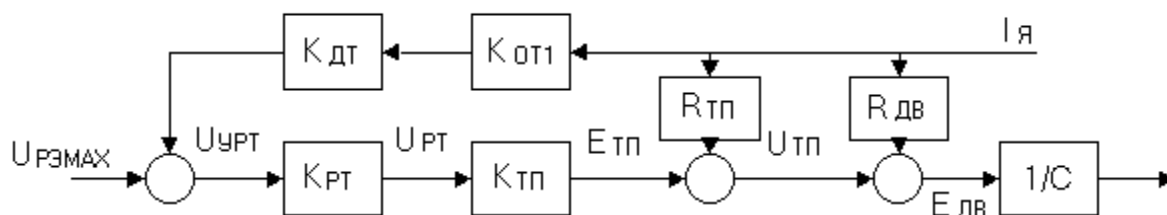


Рисунок 15 - Структурная схема силового канала электропривода для режима стабилизации тока.

Составим систему уравнений, которые описывают работу электропривода в режиме стабилизации тока двигателя в статике:

$$U_{yp3}=U_3-U_{03} \quad (14)$$

$$U_{p3} = U_{yp3} * K_{p3} \quad (15)$$

$$U_{ypr} = U_{p9} - U_{ot1} \quad (16)$$

$$U_{PT} = U_{yPT} * K_{PT} \quad (17)$$

$$E_{\text{TP}} = U_{\text{PT}} * K_{\text{TP}} \quad (18)$$

$$U_{TP} = E_{TP} + I_{ДВ} * R_{TP} \quad (19)$$

$$U_{TP}=U_{DV} \quad (20)$$

$$U_{ДВ} = E_{ДВ} + I_{ДВ} * R_{ДВ} \quad (21)$$

$$E_{DB} = C^* \omega_{DB} \quad (22)$$

Решим систему уравнений (14 – 22) относительно угловой скорости двигателя:

$$\omega = \frac{K_{\text{ш}} * K_{\text{рт}} * U_{\text{рэн}}}{C} - I_{\text{дв}} * \frac{(R_{\text{яц}} + K_{\text{ш}} * K_{\text{рт}} * K_{\text{дт}} * K_{\text{от1}})}{C} \quad (23)$$

Для определения тока стопорения двигателя решим (23)

относительно тока, при $\omega=0$. Получим:

$$I_{ст} = \left(\frac{K_{тп} * K_{рт} * U_{рэн}}{C} \right) / \left(\frac{R_{яц} + K_{тп} * K_{рт} * K_{дт} * K_{от1}}{C} \right) =$$

$$= \left(\frac{83,67 * 40000 * 10}{7,2} \right) / \left(\frac{0,2168 + 83,67 * 40000 * 0,01875 * 1,016}{7,2} \right) = 525 \text{ A} \quad (24)$$

Рассчитаем электромеханические характеристики электропривода для найденных ранее численных значений параметров и различных задающих напряжений. Результаты расчетов сведем в таблицу 8 .

Таблица 8

U _{зс} , В	ω_0 , рад/с	ω_n , рад/с
1	5,6	5,128
5	28,3	27,828
10	56,6	55,128

Графики электромеханических характеристик приведены на рисунке 16.

Графики рассчитаны при помощи прикладной программы Mahtcad 7.

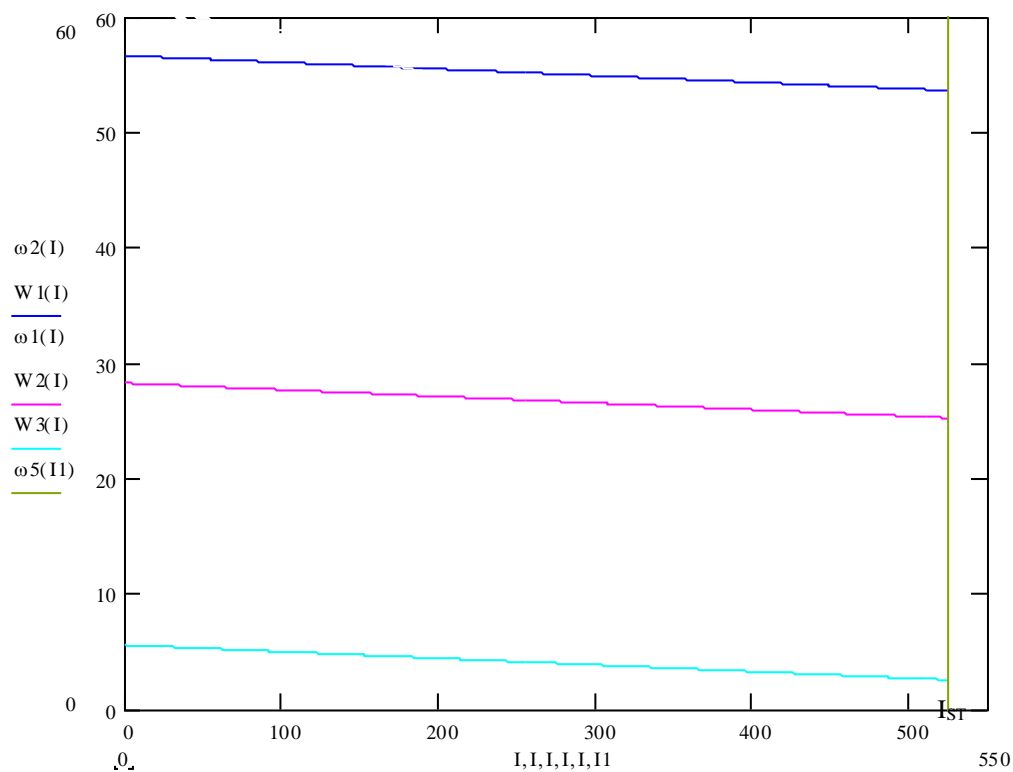


Рисунок 16 - Механические характеристики при различном напряжении на якоре двигателя

Найдем погрешность поддержания скорости двигателя для каждой из рассчитанных характеристик по формуле:

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 9.

Таблица 9

Uз, В	δ%
1	8,4
5	1,66
10	0,83

Из анализа результатов расчетов следует, что исследуемая система обеспечивает поддержание скорости в рабочем диапазоне нагрузок – не более 10%, что соответствует требованиям технического задания.

2.13 Анализ нелинейных структур САУ РЭП. Моделирование нелинейных структур САУ РЭП

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учета особенностей работы как в целом электропривода, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учет особенностей тиристорного преобразователя (дискретное полууправляемое устройство с конкретным способом управления и законом согласования регулировочных характеристик групп вентелей) и элементов систем электропривода с нелинейными характеристиками (СИФУ, регуляторы, обратные связи, нагрузки реактивного характера, кинематические цепи и т.д.), параметров электрической и механической систем, зависящих от времени и других параметров (индуктивность силовой цепи; момент нагрузки, момент инерции и т.п.).

Структурная схема нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлена на рисунке 17.

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

$W(P)_{PЭ} = K_{PЭ}$ - передаточная функция П-РЭ;

$W(P)_{PT} = K_{PT} \frac{T_{PT} p + 1}{T_{PT} p}$ - передаточная функция ПИ-РТ;

$W(p)_{ТП} = \frac{K_{ТП}}{T_{mn} p + 1}$ - передаточная функция ТП;

$W(p) = \frac{C}{R_{яц} \cdot (T_{яц} p + 1) \cdot Jp}$ - передаточная функция передаточная функция электродвигателя;

$W(P)_{\Phi\Omega} = \frac{1}{T_{\Phi H} P + 1}$ - передаточная функция фильтра при $T_{\Phi H} = T_{\Delta\Phi}$.

$K_{\Omega\Phi}$ - коэффициент обратной связи по ЭДС;

$K_{\Delta\Phi}$ - коэффициент датчика ЭДС;

$K_{\Delta I}$ - коэффициент датчика тока;

$K_{\Omega I}$ - коэффициент обратной связи по току;

$K_{\Delta U}$ - коэффициент датчика напряжения.

2.13.1 Расчет переходных процессов и определение динамических показателей качества нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный

Расчет переходных процессов в системах регулируемого однозонного электропривода постоянного тока нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный, выполненного по структурной многоконтурной схеме с последовательной коррекцией, выполняется на ЭВМ по программе Matlab. Программа воспроизводится методом имитационного численного моделирования переходных процессов в аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в широких пределах варьировать структуру и значения параметров элементов САУ, выводить результаты расчетов в виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 18-22.

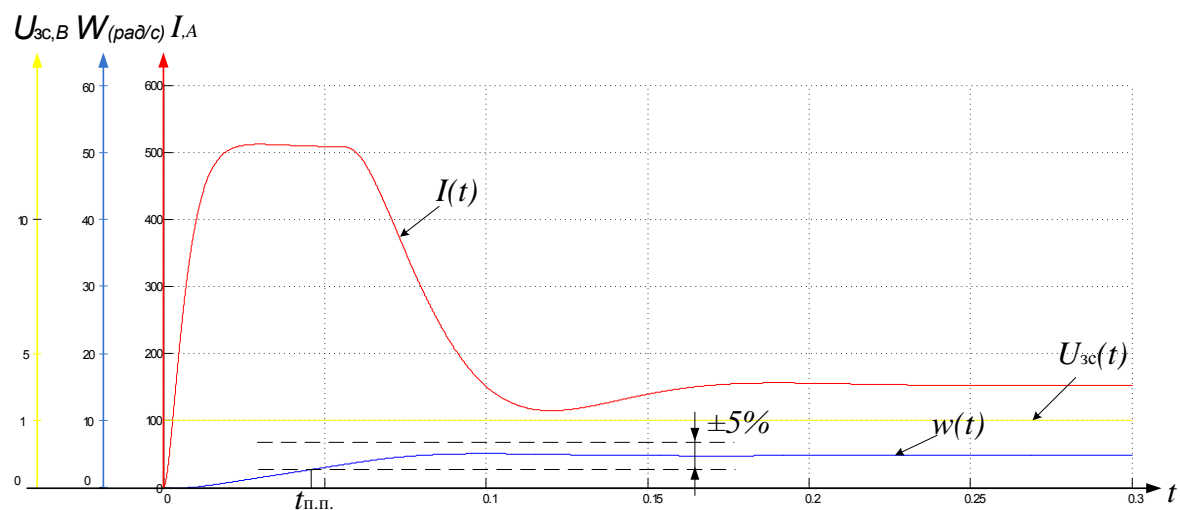


Рисунок 18 Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3=1 \text{ В}$ $t_{п.п.}=0.04 \text{ С}$

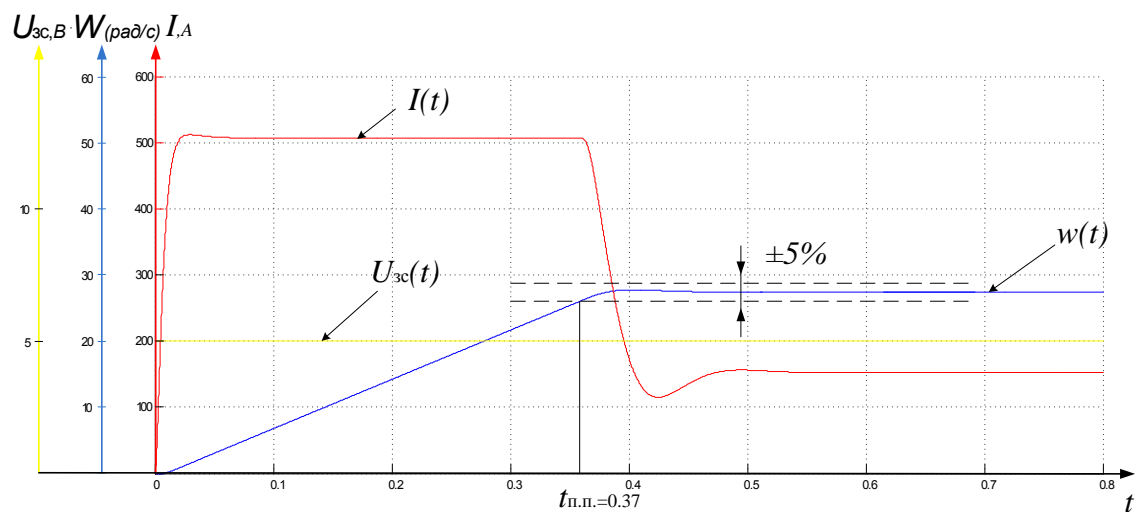


Рисунок 19 Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3=5 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.37 \text{ С}$

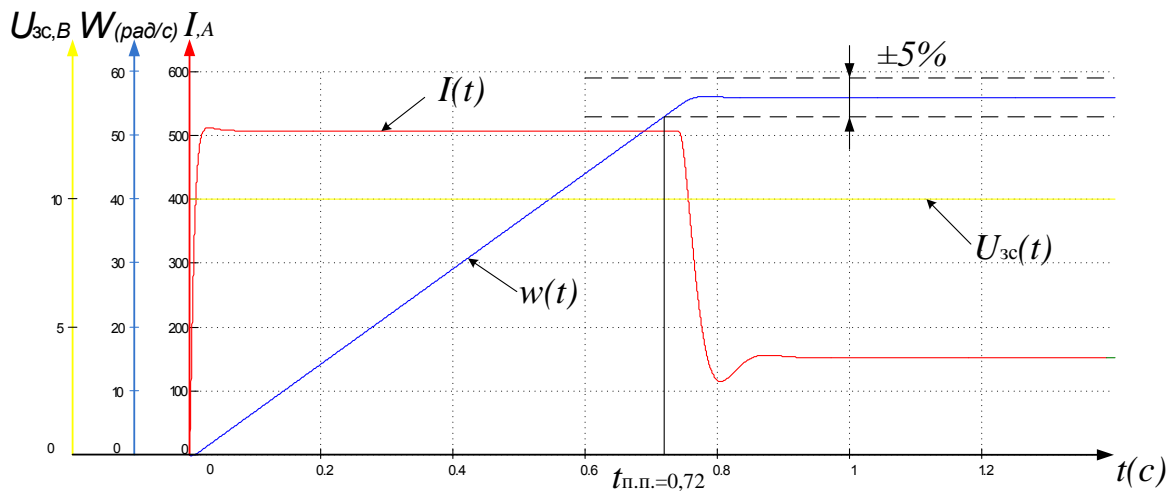


Рисунок 20 Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3=10 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.82 \text{ С}$

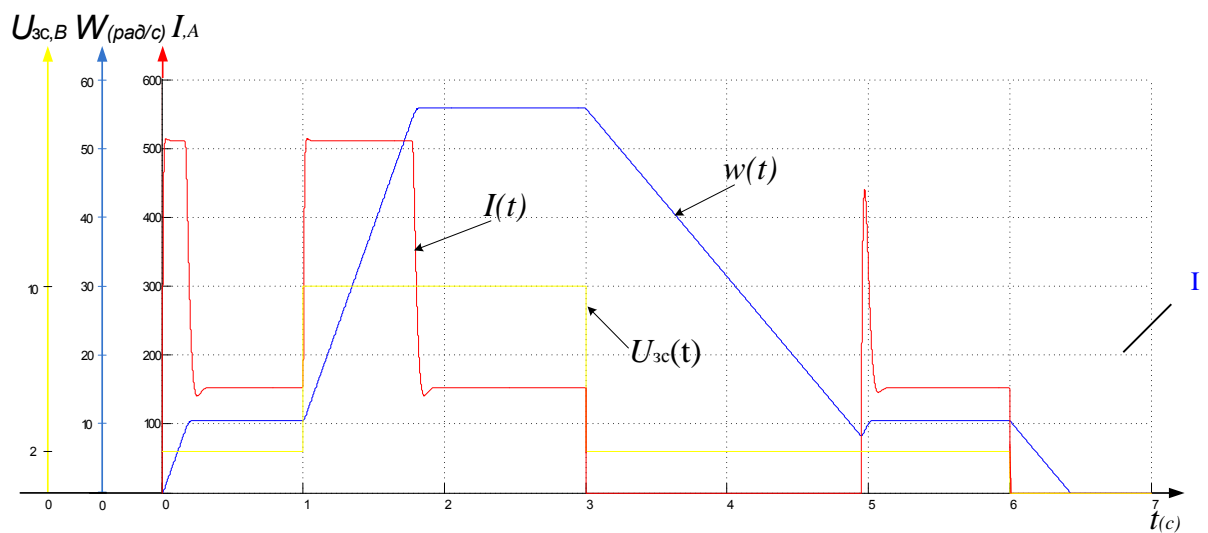


Рисунок 21 Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3=2 \text{ В}$, увеличение $U_3=10 \text{ В}$, уменьшение $U_3=2 \text{ В}$ и торможении $U_3=0 \text{ В}$.

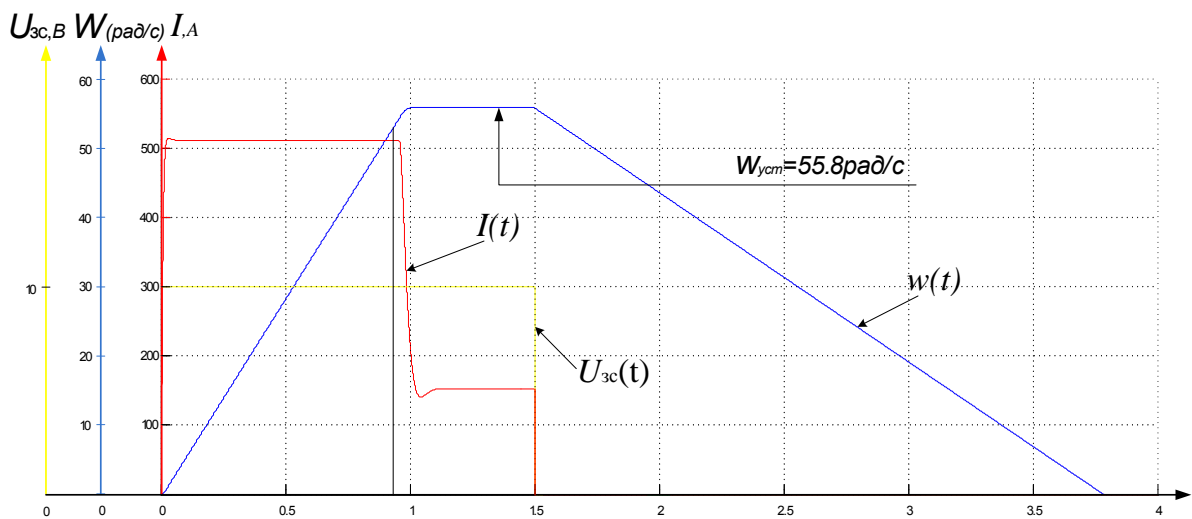


Рисунок 22 Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3=10 \text{ В}$ и торможении $U_3=0 \text{ В}$

2.14 Принципиальная схема САР ЭП

На демонстрационном листе представлена принципиальная схема САР скорости двигателя. САР представляет собой комплексное устройство на типовых блоках УБСР – АИ (унифицированная блочная система регуляторов – аналоговая ветвь). Унифицированный сигнал в системе УБСР – АИ составляет 10В, напряжение питания постоянным током 15В и 24В, источники питания общие.

Для тиристорного электропривода постоянного тока, механизма агломашины, системы подчиненного регулирования организованы два контура регулирования. Внешний контур служит для регулирования скорости двигателя, построенный на П – регуляторе ЭДС, а внутренний – для подчиненного регулирования тока якоря. Объектом управления внутреннего контура является тиристорный преобразователь и якорная цепь электродвигателя, а внешнего контура – механическая часть ЭП.

Напряжение задания подается от командоаппарата на вход САР, Сигнал с регулятора ЭДС поступает на вход регулятора тока. На входе регулятора тока формируется сигнал управления для СИФУ,

определяющий угол открывания тиристоров α .

В качестве контурных регуляторов в системе подчиненного регулирования применяются операционные усилители (ОУ). ОУ представляют собой совокупность усилителя постоянного тока (УПТ) и решающих цепей, придающих ему необходимую характеристику. УПТ характеризуется высоким коэффициентом усиления, большим входным и малым выходным сопротивлениями, высоким быстродействием.

2.15 Функциональная схема ЭП

На рисунке 23 , а также на демонстрационном листе, представлена функциональная схема автоматизированного нереверсивного тиристорного электропривода постоянного тока механизма агломашины. Рассмотрим схему и назначение ее основных элементов.

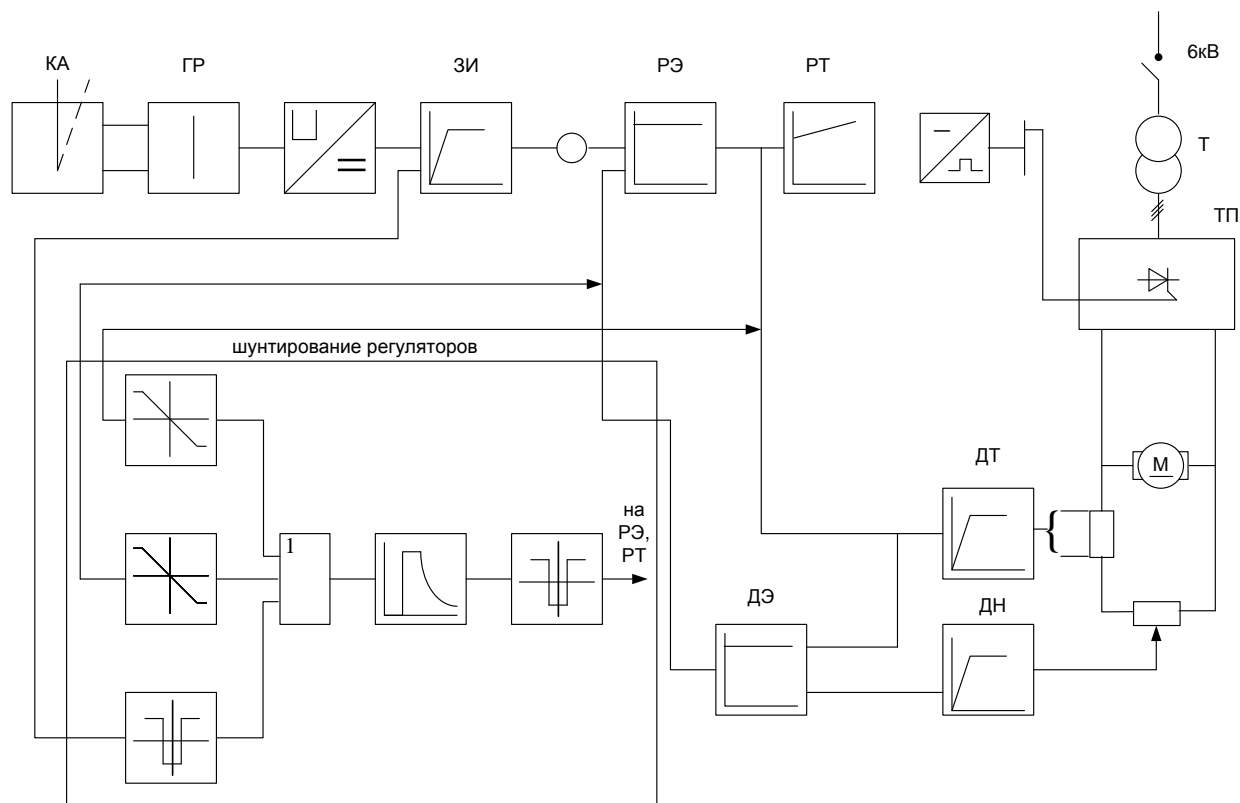


Рисунок 23 Функциональная схема

Электродвигатель М получает питание от нереверсивного тиристорного преобразователя ТП, который питается от трехфазной сети через автоматический выключатель QF1 и разделительный трансформатор Т1. Выключатель защищает блоки ТП от коротких замыканий.

Силовой тиристорный блок преобразователя выполнен по трехфазной мостовой схеме.

Система автоматического регулирования (САР) представляет собой двухконтурную схему подчиненного регулирования скорости с отрицательной обратной связью по скорости. Внутренний контур – контур тока.

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) генерирует управляющие импульсы для тириستоров силового блока и изменяет их фазу

в зависимости от величины управляющего сигнала на ее входе с целью регулирования напряжения преобразователя и скорости электродвигателя. Величина входного сигнала СИФУ является функцией величин управляющего сигнала и сигналов обратных связей, поступающих в схему управления ЭП. Управление электродвигателем (пуск, регулирование скорости, торможение и др.) осуществляется с помощью бесконтактного командоконтроллера SA с поста управления.

Командоаппарат дает обычный ступенчатый сигнал управления, что вызывает соответствующее ступенчатое увеличение скорости привода. Однако быстрое изменение скорости привода может вызвать чрезмерный бросок динамического тока, пропорционального производной по скорости. Поэтому в схеме принимаются меры по ограничению динамического тока при разгоне.

С этой целью на вход регулятора скорости РС вместо ступенчатого сигнала подается сигнал, изменяющийся линейно. Преобразование ступенчатого сигнала в сигнал, линейно изменяющийся во времени, осуществляется задатчиком интенсивности ЗИ.

С помощью датчика скорости реализована отрицательная обратная связь по скорости двигателя, а с помощью датчика тока ДТ реализована отрицательная обратная связь по току двигателя. Существующий сигнал с датчика скорости и задатчика интенсивности поступает на вход П – регулятора скорости, выходной сигнал с регулятора скорости РС поступает на вход регулятора тока РТ.

Сигналы задания скорости, обратной связи по скорости и заданного значения производной по скорости (dn/dt – ускорение) поступают на вход устройства шунтирования регуляторов. При наличии любого из перечисленных сигналов по управлению, превышающих пороговое значение, на входе порогового устройства появляется положительное

напряжение, которое через усилитель поступает на управление ключами, установленных в цепи регулирования уровня ограничения РС и на вход блокировки РТ. Т. е. На РС устанавливается необходимый уровень ограничения. При уменьшении всех сигналов на входе устройства до уровней меньших установленного порогового значения, напряжение на усилителе плавно уменьшается до определенного значения. При достижении этим напряжением нулевого уровня выходной сигнал РС равным нулю, т. к. становится равным нулю уровень ограничения РС, из-за отключения ключей в цепи задания уровня ограничения. При подаче сигнала задания скорости, расшунтирование регуляторов происходит после уменьшения входных сигналов до порогового значения.

РТ получает на входе сигнал задания с П – регулятора скорости и сигнал обратной связи по току. На входе РТ формируется напряжение управления для СИФУ, которая определяет угол регулирования α .

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Уразбаев Искандер Юлдашевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделене	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость проектных ПНР работ	Стоимость материалов ПНР, содержание и сроки ПНР, информационных и человеческих ресурсов

2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения	Отчисления в бюджетно-страховые формы (30,2% от заработной платы)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика работ по реализации технического проекта используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта.
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • Материальные затраты; • Полная заработная плата исполнителей; • Отчисления во внебюджетные фонды; • Накладные расходы;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Уразбаев Искандер Юлдашевич		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Обоснование необходимости применения регулируемого электропривода

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы Siemens A1000 модель 2A0040, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90агломашины.

Целью наладки электропривода на объекте является доведение электрооборудования до требований, предъявляемых технологическим процессом. Электрооборудование подвергается приемо-сдаточным испытаниям на заводе - изготовителе. Тем не менее, в процессе наладки на объекте, как правило, повторяется определённая часть этих испытаний, что вызвано следующими обстоятельствами:

- при транспортировании, хранении и монтаже возможны повреждения отдельных элементов электрооборудования;
- типовая программа приемо-сдаточных испытаний на заводе-изготовителе, как правило, не учитывают всех требований конкретного технологического механизма;
- при проведении приемо-сдаточных испытаний не все элементы могут быть испытаны при номинальных значениях нагрузок;
- некоторые крупногабаритные комплектующие устройства (трансформаторы, реакторы) непосредственно с этих заводов изготовителей, минуя испытательную станцию изготовителя комплектного электропривода.

Для наладки комплектных электроприводов на предприятии - изготовителе с целью их доводки до показателей, соответствующих техническим условиям, а так же при эксплуатации на промышленном объекте используется специальное контрольно-измерительное оборудование. При наладке используются вспомогательные элементы, встроенные в шкафы электропривода и дополнительные устройства: электронно-лучевой осциллограф, мегомметр для контроля изоляции.

Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха. Средства выделяются на основе рассчитываемой калькуляции проведения ПНР.

Финансирование ПНР включает в себя следующие четыре этапа.

1. Предварительное изучение жизнеспособности проекта.

2. Разработка плана реализации проекта.
3. Организация финансирования.
4. Контроль выполнения плана и условий финансирования.

Комплекс работ разобьём на этапы и определим в процентном соотношении объём выполнения работ по каждому этапу. Результаты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Содержание этапов ПНР

%	Содержание этапов работы	Объём работы, %
1	Подготовительные работы	11
1.1	Организационная и инженерная подготовка работ	3
1.2	Изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией предприятия-изготовителя оборудования	6
1.3	Подготовка приборов, приспособлений и комплекса форм протоколов	2
2	Монтаж электрооборудования	33
2.1	Внешний осмотр электрооборудования на предмет соответствия проекту	5
2.2	Установка электрооборудования, сборка силовых цепей электропривода	24
2.3	Сборка схемы сигнализации	4
3	Наладка электрооборудования под напряжением	34
3.1	Снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта	11
3.2	Испытание и наладка системы РЭП питателя вхолостую и под нагрузкой	23
4	Обеспечение на электроустановке электрических параметров и режимов, предусмотренных проектом, а	22

	также обеспечение устойчивой работы в эксплуатационных режимах	
4.1	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	11
4.2	Оформление в одном экземпляре протоколов пусконаладочных работ и испытаний электропривода	6
4.3	Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта, данных измерений, выполненных в процессе пусконаладочных работ	5
	Итого	100

3.2 Структура пусконаладочных работ

Структуру пусконаладочных работ определяем исходя из сложности серийно-выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями СНиП «Организация, производство и приемка работ», с требованиями «Правил устройства электроустановок», а также исходя из технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При выборе состава и численности бригады следует руководствоваться условиями:

- бригада не должна быть специализированной, т.е. состоять из рабочих разных профессий, выполняющих технологически разные работы;
- работа сменная – в одну смену;
- техникой безопасности запрещено производить работы на оборудовании под напряжением менее чем двум человекам.

Из вышеперечисленного следует приблизительный состав бригады:

- Инженер-наладчик не ниже VI разряда (бригадир).
- Электрослесарь V разряда.
- Слесарь по ремонту оборудования V разряда.

Распределение работ среди членов бригады производится бригадиром в соответствии с профессиональной специализацией каждого. Продолжительность выполнения отдельных этапов работ определяется из профессионального опыта проведения аналогичных видов работ бригадой. Сроки исполнения и исполнители отдельных видов работ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Сроки исполнения ПНР

№ этапа	Продолжительность этапа, часы	Исполнители
1	8	Весь состав бригады
1.1	2,5	Весь состав бригады
1.2	4	Весь состав бригады
1.3	1,5	Весь состав бригады
2	24	Весь состав бригады
2.1	3,5	Весь состав бригады
2.2	17,5	Весь состав бригады
2.3	3	Весь состав бригады
3	24	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.1	8	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.2	16	Инженер-наладчик, электрослесарь
4	16	Инженер-наладчик
4.1	8	Инженер-наладчик
4.2	4,5	Инженер-наладчик
4.3	3,5	Инженер-наладчик
Итого	72	

На основе вышеперечисленных этапов и сроков их исполнения построим линейный график ПНР представленный на рисунке 9.



Рисунок 9 – График выполнения ПНР

3.3 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ

Стоимость пусконаладочных работ для электропривода агломашины включает в себя:

- Стоимость материалов;
- Основную заработную плату;
- Дополнительную заработную плату;
- Отчисления на социальные нужды;
- Накладные расходы;
- Прочие затраты.

Стоимость материалов необходимых для проведения пусконаладочных работ рассчитаем в таблице 9.

Таблица 9 – Стоимость материалов

№	Наименование	Единица измерения	Масса	Стоимость, руб.	
				За единицу	Всего
1	Лента ПХВ электроизоляционная	кг	0,1	300	30

2	Трубка ПХВ (5мм)	кг	0,1	440	44
3	Трубка ПХВ (10мм)	кг	0,05	584	29,2
4	Наконечник медный	шт.	12	9,6	115,2
	Итого				218,4

Стоимость комплектующих и оборудования, необходимых для проведения пусконаладочных работ, рассчитываем в таблице 10.

Таблица 10 – Стоимость комплектующих и оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
				За ед.	Всего
1	Редуктор F41 3 H40 P90	шт.	1	38320	38320
2	Электродвигатель 4A132M6	шт.	1	20860	20860
3	Коммут. аппаратура	Комплект	Комплект	15180	15180
4	Токоограничивающий реактор РТСТ-41-1.01	шт.	1	8000	8000
5	Кабель силовой КГХЛ 3×6×4	м	30	115	3450
6	Кабель контрольный КВВГ 14×1,5	м	15	106	1590
7	Преобразователь частоты Siemens A1000	шт.	1	48560	48560
	Итого				135960

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, без премий.

При выполнении пусконаладочных работ в условиях вредного производств к заработной плате применяются следующие поправочные коэффициенты.

- выполнение пусконаладочных работ с надбавкой в размере районного коэффициента – $K_1=1,3$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ при работающем оборудовании – $K_2=1,1$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ в установках находящихся под напряжением – $K_3=1,3$.

Заработная плата составит:

$$З = Т \cdot Ч \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где Т – тарифная ставка, руб.;

Ч – количество отработанного времени, час.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Основная заработная плата

Состав бригады	Разряд	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	6	140	72	18738,72
Электрослесарь	5	124	72	16597,15
Слесарь	5	124	32	7376,51

Итого				42712,38
-------	--	--	--	----------

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 15% от основной заработной платы:

$$Z_{дон} = 0,15 \times 3 = 0,15 \times 42712,38 = 6406,86 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды составляет 30,2% от основной и дополнительной заработной платы:

$$O_{сф} = (3 + Z_{дон}) \times 0,302 = (42712,38 + 6406,86) \times 0,302 = 14834,01 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы:

$$H = 3 \times 0,6 = 42712,38 \times 0,6 = 25627,43 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы:

$$П = 3 \times 0,02 = 42712,38 \times 0,02 = 854,2 \text{ руб.}$$

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ регулируемого электропривода агломашины представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Смета затрат на проведение ПНР

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Материалы, оборудование и комплектующие	136178,4
3	Основная заработная плата	42712,38
4	Дополнительная заработная плата	6406,86
5	Отчисления в социальные фонды	14834,01
6	Накладные расходы	25627,43
7	Прочие расходы	854,2
8	Итого	226613,28

3.4. Расчет эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты рассчитываются по изменяющимся статьям

себестоимости, к ним относят: амортизационные отчисления, затраты на эксплуатацию и текущий ремонт.

3.4.1 Амортизационные отчисления

$$A_{\text{год}} = \frac{K \cdot H}{100\%}, \text{ руб.},$$

где К- капитальные затраты;

3.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт

$$З_{\text{год}} = \frac{K \cdot H_p}{100\%}, \text{ руб.},$$

где H_p - норма отчислений на эксплуатацию и текущий ремонт, H_p составляет 6% от стоимости оборудования, комплектующих и материалов ($H_p=6\%$)

Вывод:

В данном разделе были рассмотрены мероприятия необходимые для введения в эксплуатацию электропривода агломашины, определена сметная стоимость на пусконаладочные работы, проводимые бригадой входящей в состав цеха.

Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа пусконаладочных работ. Согласно полученным данным был построен линейный график проведения пусконаладочных работ, а также составлена сметная стоимость.

Затраты на ПНР составили –226613,28 руб.

Эксплуатационные затраты составили – 71945,1 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Уразбаев Искандер Юлдашевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является электропривод конвейера агломерационной машины. Используется для получения агломерата путём спекания рудной мелочи и концентратов методом прососа воздуха через слой шихты, лежащей на колосниковой решётке, с частичным освобождением шихты от вредных примесей.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	<p><i>Вредными факторами являются:</i></p> 1. Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); 2. Загазованность; 3. Шум и вибрация; 4. Отклонение показателей микроклимата; 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны. <p><i>Опасными факторами являются:</i></p> 1. Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) движение производственного материала; в) выброса горячего шлака из-под зажигательного горна. 2. Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
2. Экологическая безопасность:	-Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ в результате деятельности данного цеха. -Анализ воздействия на гидросферу: образование сточных вод..
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электротехнического персонала
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Уразбаев Искандер Юлдашевич		

4 Социальная ответственность

Ранее в предыдущем разделе ВКР был произведен расчет электропривода агломерационной машины.

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: запыленность, загазованность, шум и вибрация, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.

4.1 Производственная безопасность

Вредные факторы: запыленность, загазованность, шум и вибрация, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.

Запыленность - пыль агломерационного цеха в основном состоит из коксовой пыли и окислов железа. Для борьбы с пылью в цехе используются различного рода фильтры, оросители и пылесосы. Пыль по степени ее измельчения (дисперсности) делят на две группы: видимую, с размером частиц более 10 мкм и микроскопическую, менее 10 мкм.

Загазованность - присутствие в атмосфере цеха вредных газов и аэрозолей обусловлено нарушениями технологического режима, неисправностью и несовершенством технологического оборудования.

Шум - технологические операции при изготовлении и транспортировке агломерата сопровождается образованием шумов низкой и высокой частоты. Уровень шума составляет 75дБ, ПДУ согласно [14] уровень шума 80дБ. Снижение шума достигается путем динамической балансировки механизмов, звукоизоляции постов и кабин управления, совершенствованием конструкции механизмов, а также использование индивидуальных средств защиты берушей.

Вибрация - для борьбы с вибрацией предусмотрены виброгасящие фундаменты, виброизоляционные материалы из листов, стальных пружин и резиновых прокладок.

Микроклимат - согласно санитарным нормам площадь на одного человека в помещении должна быть не меньше 4,5 м² и объем не менее 15 м³, воздухообмен должен составить не менее 20м³/ч.

В таблице 13 приведены оптимальные нормы микроклимата на рабочем месте оператора:

Таблица 13 – Микроклимат на рабочем месте оператора

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость воздуха, м/с	
		опт	доп	опт	доп	опт	доп	опт	доп
холодный	Легкая	22-24	20-25	21-25	19-26	60-40	15-75	0,1	0,1
теплый	Легкая	23-25	21-28	22-26	20-29	60-40	15-75	0,1	0,2

Освещение - источники питания аварийного освещения соответствуют требованиям ПУЭ и удовлетворяют основным требованиям к производственному освещению, а это:

- а) обеспечено достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства;
- б) на рабочей поверхности отсутствовать резкие тени;
- в) в поле зрения отсутствует прямая и отраженная блескость;
- г) величина освещенности всегда постоянная во времени.

Опасными факторами агломерационного цеха являются:

4.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

1. Возможность получения травм в следствии:

а) движения машин и механизмов - возможность получения механической травмы в результате контакта движущейся части механизма или машины с телом человека.

б) движение производственного материала - происходит при несоблюдении техники безопасности или несвоевременного обслуживания оборудования (замены роликов, подшипников и т.д.), в следствии чего

возможно получить травмы как термические так и механические.;

в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна - при выбросе горячего шлака, есть возможность получения ожоговых травм. Выброс происходит в следствии конструктивных недостатков, неисправности системы. Работающие обязаны применять средства комплексной защиты и выполнять требования техники безопасности на рабочем месте.

2. Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования:

Поражения электрическим током - при обслуживании электропривода агломашины возможны факторы поражения электрическим током в результате прикосновения к токоведущим частям электрооборудования.

4.3 Экологическая безопасность

Накопление вредных веществ в окружающей среде оказывает влияние как на растительный и животный мир, так и на человека и приводит к нарушению нормальных жизненных условий.

Для очистки отходящих газов в аглоцехе используется центробежный пылеотделитель, в котором загрязненный воздух, подаваемый в кольцевое пространство между цилиндрами, получает вращательное движение, пылинки центробежной силой отбрасываются к стенкам наружного цилиндра, теряют скорость и соскальзывают по конической части вниз в бункер.

Для очистки сточных вод используют методы отстаивания, фильтрования, нейтрализация, озонирование и т.д. содержание загрязняющих веществ составляет на окончательном этапе 500-5000 мг/л и является не агрессивным. В охране окружающей среды важную роль играют службы контроля качества окружающей среды, призванные вести систематизированное наблюдение за состоянием атмосферы, воды и почв

для получения фактических уровней загрязнения.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях в цехе агломерации

Рассмотрим возможные чрезвычайные ситуации в агломерационном цехе на примере плана ликвидации аварии, на участке спекания агломерата, и запишем их в виде таблицы 14,

Таблица 14 - Возможные ЧС и меры их локализации.

Пожарная безопасность цеха.

Согласно НПБ 105-03 агломерационный цех относится к категории производства В, как производство, характеризующиеся наличием горючих жидкостей с температурой вспышки паров выше 61°C , горючей пыли и волокон, нижний предел взрываемости которых более 65 г/м^3 к объему воздуха; веществ способных только гореть при взаимодействии с водой,

Наименование аварии	1	2 При каких условиях возможны	3 Возможные развития аварии, в том числе	4 Способы средства предотвращения аварии	и	Меры локализации аварии	5 по
2. Загорание помещения силового управления	1. Короткое замыкание в силовом кабеле.	1. Остановка агрегата при срабатывании защиты при больших токах электроустановки.	1. Остановка агрегата при срабатывании защиты при больших токах электроустановки.	1. Выполнение графика ППР.	1. Выполнение графика ППР.	1. Отключить установку из – в	случае
1. Взрыв смеси агломашины №1.	1. Взрыв смеси агломашины №1.	2. Не срабатывание защиты при больших токах электроустановки.	1. Разрушение конструкции горна, газо-провода.	1. Выполнение графика ППР.	1. Выполнение графика ППР.	2. Запуск резервного вентилятора.	загорания отдельно стоящей электроустановки.
		3. Витковое замыкание в катушке контактора (реле).	2. Отравление персонала коксовым газом.	2. Готовность резервного вентилятора.	2. Готовность резервной аппаратуры.	3. Перекрывать подачу газа в горн агломашины.	2. Отключить все электрооборудование ПСУ из вводным автоматом – в случае загорания
			3. Остановка агломашины №1.	3. Тренировка оперативного персонала.	3. Тренировка оперативного персонала.		
			4. Остановка доменной печи.	4. Наличие резерва запасных материалов, инструментов.	4. Наличие резерва запасных материалов, инструментов.		
			5. Загорание кабельного полуэтажа.				
			6. Загорание машинного зала.				
			7. Загорание кабельной трассы примыкающей к ПСУ-78.				
			8. Вывод из строя металлоконструкций горна агломашины.				
							электропомещения и кабельных трасс.
							3. Вызвать пожарную охрану.
							4. Вызвать добровольный пожарный расчет цеха.
							5. Приступить к тушению пожара используя первичные средства пожаротушения.

кислородом воздуха или друг с другом.

Согласно СНиП 21-01-97 здания и сооружения первой степени огнестойкости выполняются из негорючих материалов, к которым относится агломерационная фабрика.

Количество эвакуационных выходов должно быть не менее двух. Эвакуация из зданий и помещений в случае возникновения пожара

обеспечивается через эвакуационные выходы, которые должны вести:

- из помещений первого этажа непосредственно наружу или через вестибюль, коридор, лестничную клетку;
- из помещений любого этажа (кроме первого) в коридор ведущий на лестничную клетку;
- из помещения в соседнее помещение на этом же этаже, обеспеченное выходами согласно выше сказанному .

На рисунке 22 приведен план эвакуации персонала агломерационного цеха из помещения установки электрооборудования привода агломашины, в случае пожара. На плане эвакуации приняты следующие обозначения:

1. помещение установки электрооборудования привода агломашины;
2. огнетушитель (пожарный щит);
3. пожарный кран.

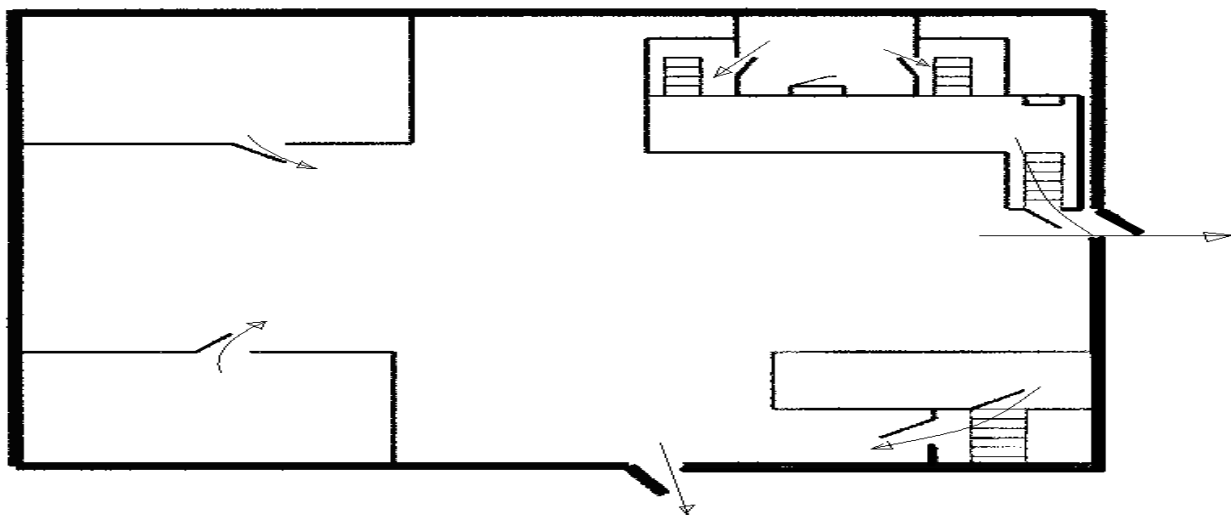


Рисунок 22 – План эвакуации при пожаре.

Приступать к тушению пожара электроустановки можно только после снятия с нее напряжения. Для тушения пожара в электроустановках аглоцеха применяются углекислотные огнетушители типа УП-2М,

который предназначен для тушения горящих твердых материалов, нефтепродуктов и электрических установок, где нежелательно применение воды.

Для быстрого извещения службы пожарной охраны о возникшем пожаре, в каком либо помещении или сооружении предприятия – служит электрическая пожарная сигнализация. В качестве пожарной сигнализации агломерационного цеха применяется приемная станция типа ТЛО-30/2М на 30 лучей, с оповещателями типа ПКИЛ-7.

4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

По действующим правилам (ПУЭ п. 1.1.13) все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса:

- без повышенной опасности;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха, с изолирующими (например, деревянными) полами, в которых отсутствуют заземленные предметы или их очень мало.

К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения:

- сырые, в которых относительная влажность воздуха длительно превышает 75%;
- жаркие, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более 1 суток) 35°С;
- пыльные, с токопроводящей пылью, в которых по условиям производства выделяется токопроводящая технологическая пыль;
- с токопроводящими полами - металлическими, земляными,

железобетонными, кирпичными и тому подобное, в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и тому подобное, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой.

К особо опасным относятся помещения:

- особо сырые, то есть помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100%,
- с химически активной или органической средой, содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Техника безопасности при выполнении пуско-наладочных работ должна соответствовать [3]. Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления. Электрозащитные средства подразделяются на основные и дополнительные.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции в электроустановках потребителей должно быть предусмотрено заземление. Заземляющие устройства электроустановок должны соответствовать требованиям [3] и обеспечивать условия безопасности людей и защиты электрооборудования, а также эксплуатационные режимы работы. Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величины его сопротивления.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является расчет электропривода агломерационной машины.

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания. Так, электромеханические характеристики электропривода, ограниченные значениями $\omega = \omega_{\text{макс}}$ и $I = I_{\text{доп}}$, удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик проектируемой системы преобразователь-двигатель.

Статические характеристики привода при настройке с П-регулятором ЭДС при минимальной скорости имеют наибольшую погрешность удовлетворяющую заданным требованиям по точности поддержания скорости.

При исследовании переходных процессов установлено, что динамические показатели качества САУ РЭП во всём диапазоне

регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода питателя сырого угля. Составлена смета на проведение ПНР и построен график занятости исполнителей при выполнении пуско-наладочных работ, график выполнения пуско-наладочных работ и круговая диаграмма сметной стоимости на проведение пуско-наладочных работ.

В разделе безопасности и экологичности проекта освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

Conclusion

The purpose of this final qualifying work is the calculation of the electric drive of the agglomeration machine.

As a result of the completed qualifying work, an electric drive was designed that fully meets the requirements of the technical assignment. Thus, the electromechanical characteristics of the electric drive, limited by the values of u , satisfy the nominal values of the domain of existence of the characteristics of the projected converter-motor system.

The static characteristics of the drive when tuned with a P-regulator of the EMF at the minimum speed have the greatest error satisfying the given requirements for the accuracy of maintaining the speed.

In the study of transient processes, it was established that the dynamic quality indicators of the ACS REP within the whole range of speed control fully satisfy the requirements of the technical assignment.

In the economic part of the final qualifying work, issues of planning,

financing and commissioning of the electric drive of the raw coal feeder are considered. An estimate for the commissioning of the NDP has been prepared and a schedule for the employment of the performers in the performance of commissioning and start-up operations, a schedule of commissioning and a pie chart of the estimated cost for commissioning.

In the section of safety and ecology of the project questions of: industrial safety; safety precautions; analysis of hazardous and harmful production factors; Fire safety; the measures on environmental protection are considered.

Список использованных источников.

1. Машины и агрегаты металлургических заводов.,1978.
2. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. М.: Металлургия, 1990.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.
4. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1997.
5. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск, 1991.
8. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 3. –Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 152 с.
10. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского - М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. СНИП 12.1.005.-88 Санитарные нормы промышленных предприятий.
12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
13. Елгазин В.И. Расчет искусственного освещения.: Томск, 1971.
14. СНИП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.

15. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.

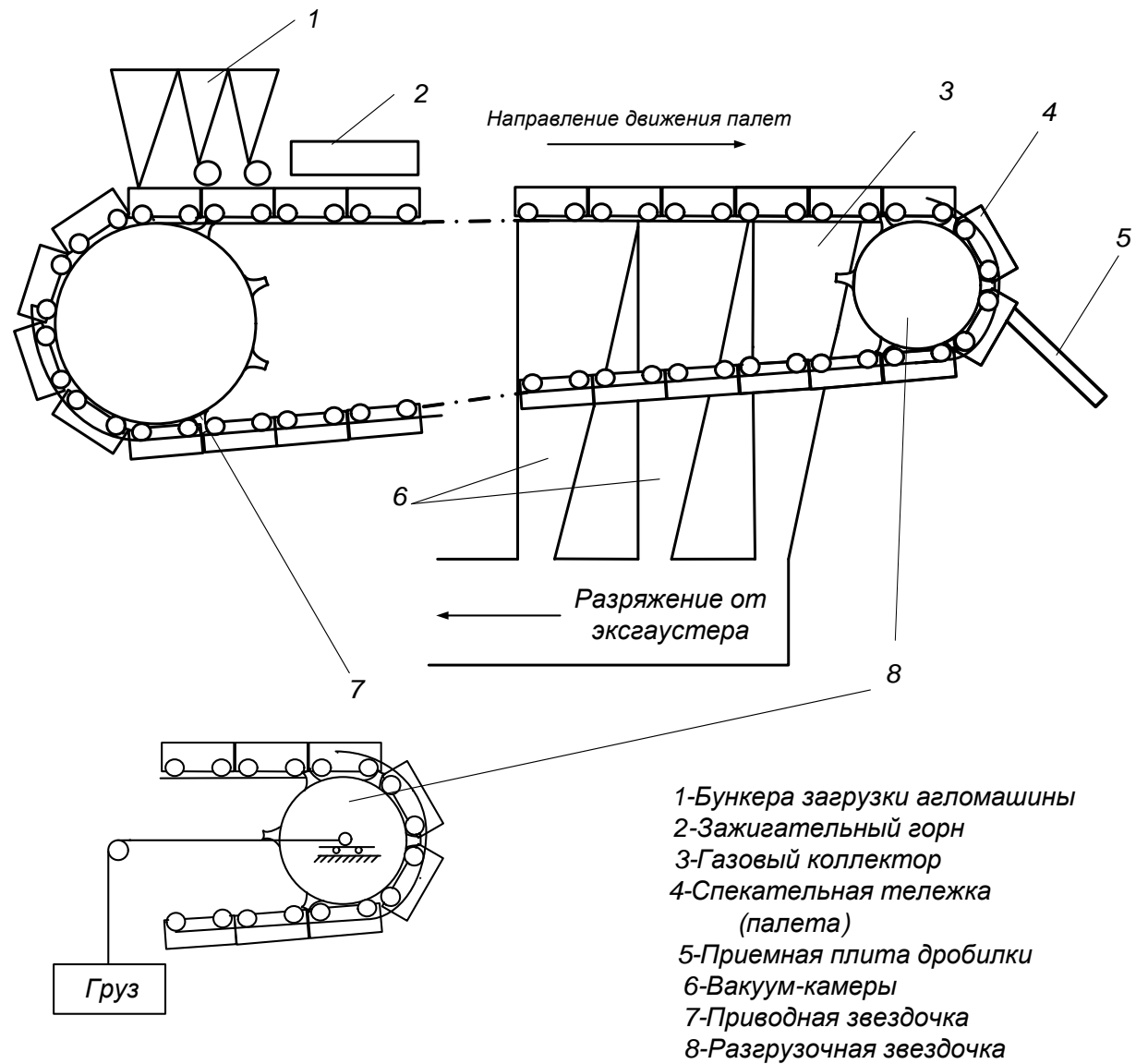
16. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.

17.Справочник по электрическим машинам в 2т. Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т1. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.

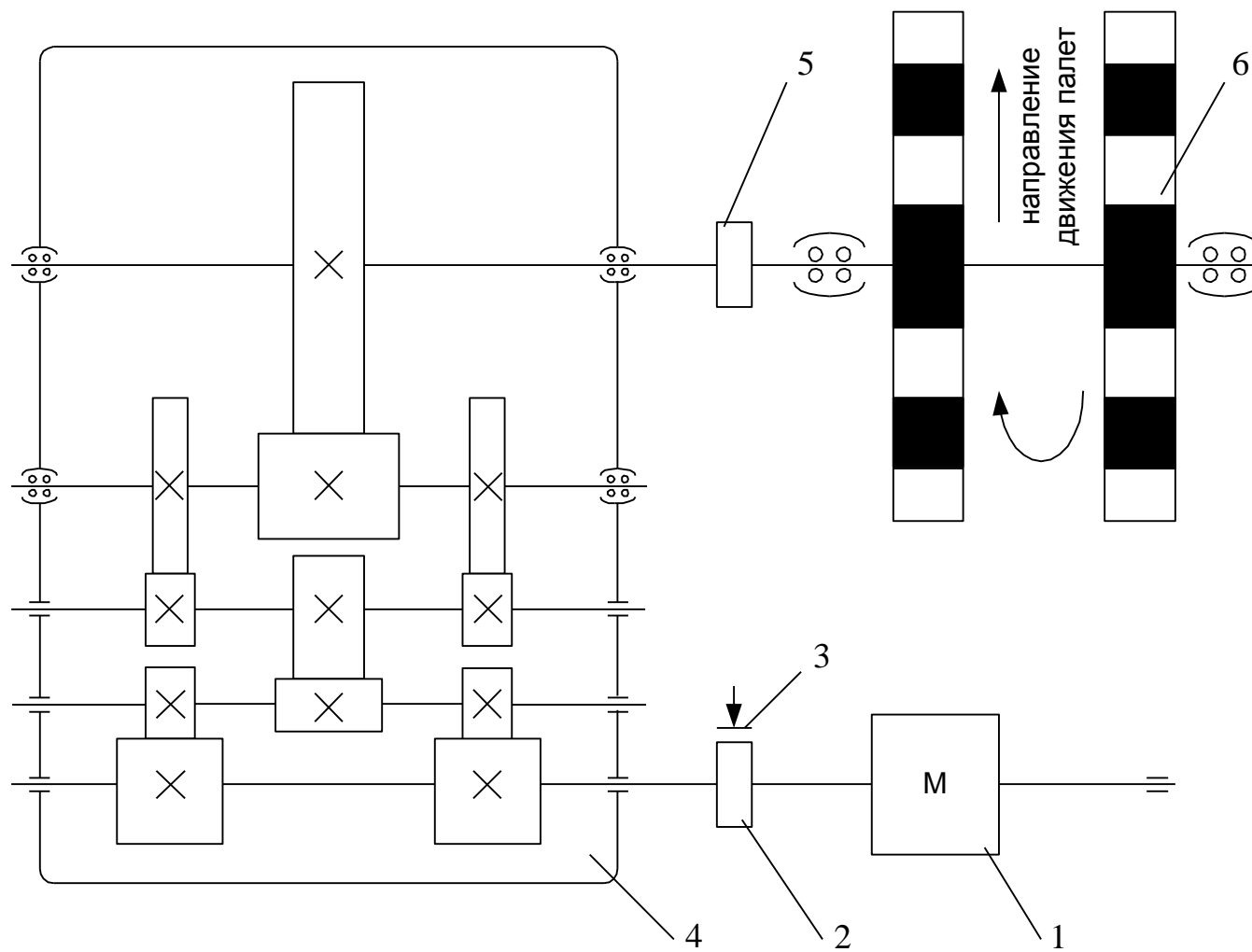
18. Электроприводы унифицированные трёхфазные серии ЭПУ1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГРФ.654674.001 ТО 1984.

19, Булычев А. Л., Галкин В. И., Прохоренко В. А. Аналоговые интегральные микросхемы. Справочник. – Минск: Беларусь, 1993. – 382 с.

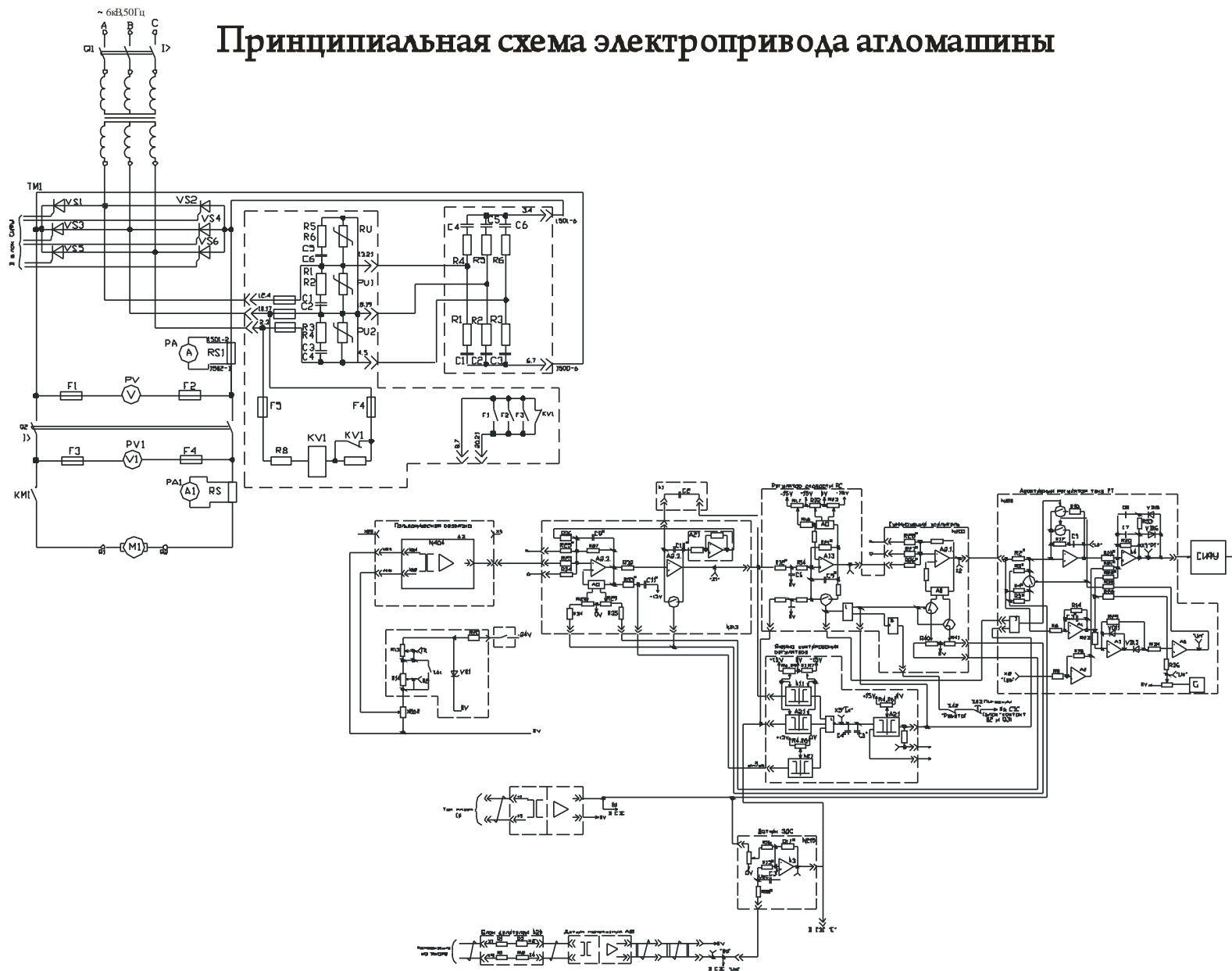
Общий вид агломашины



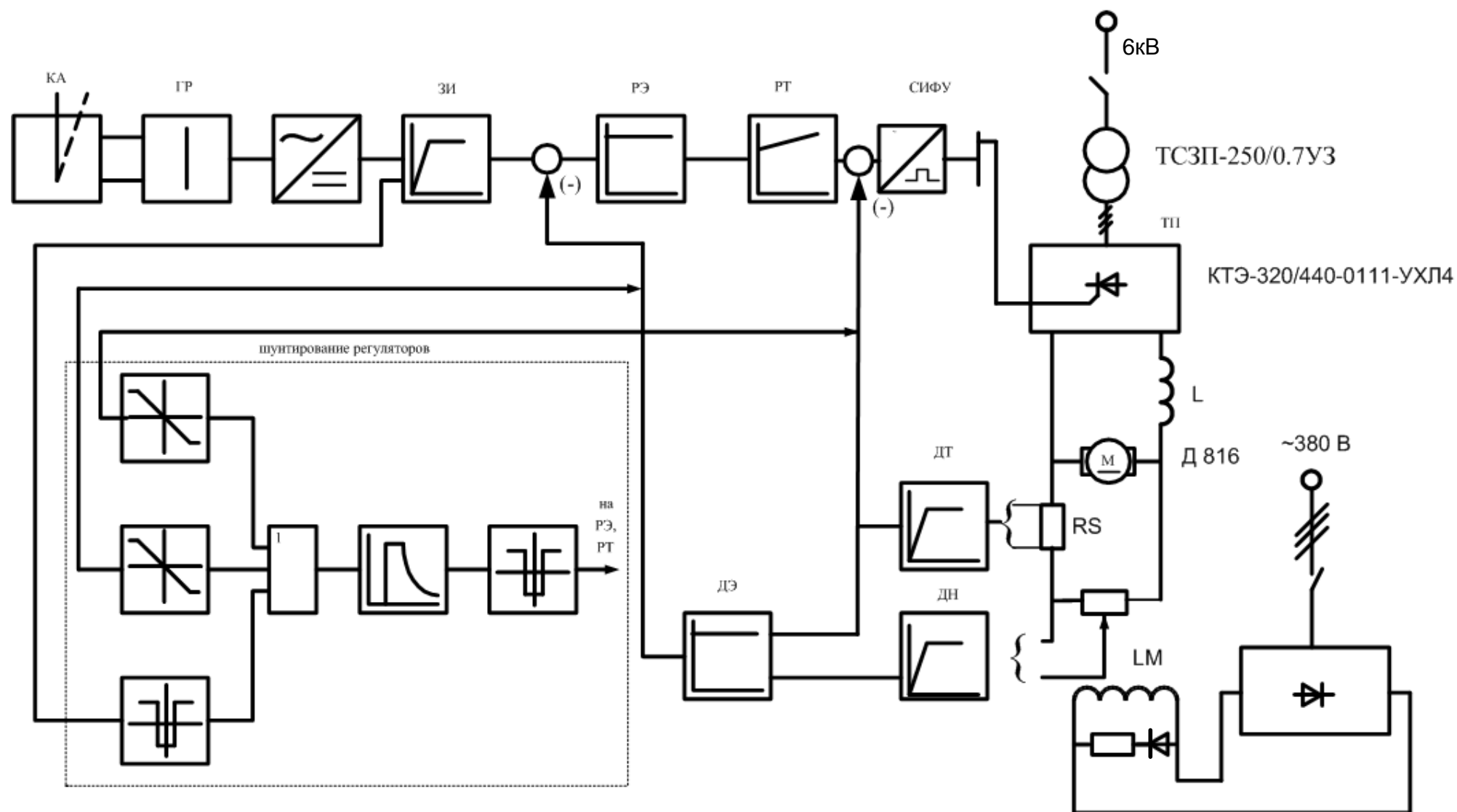
Кинематическая схема механизма агломашины



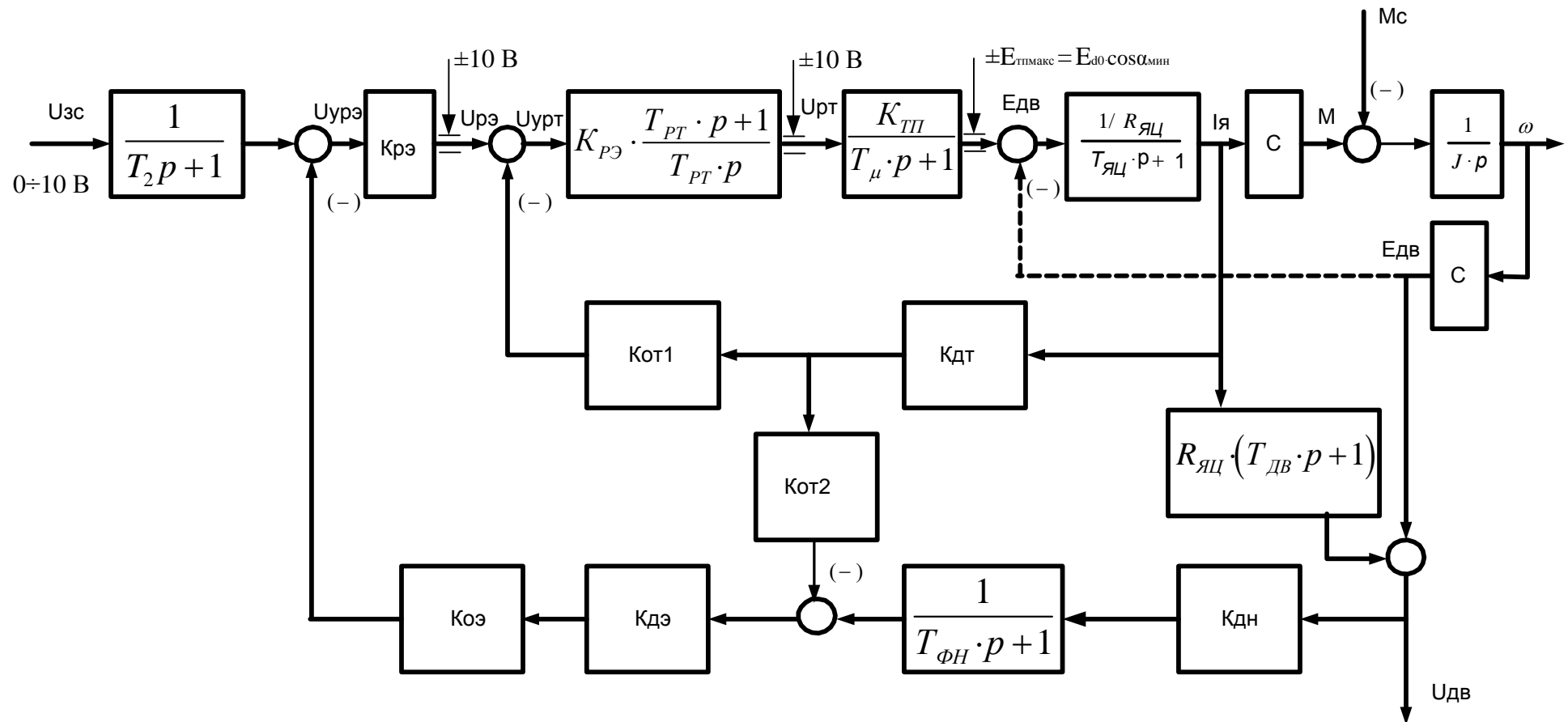
Принципиальная схема электропривода агломашины

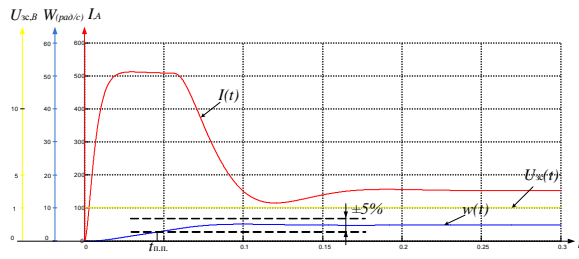


ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

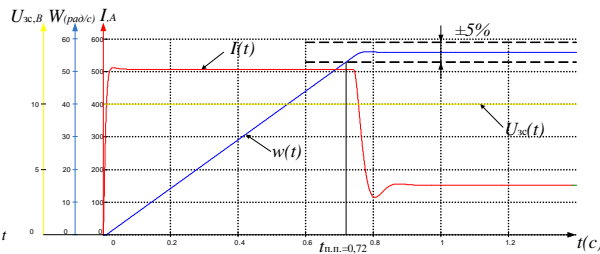


Структурная схема электропривода агломерационной машины

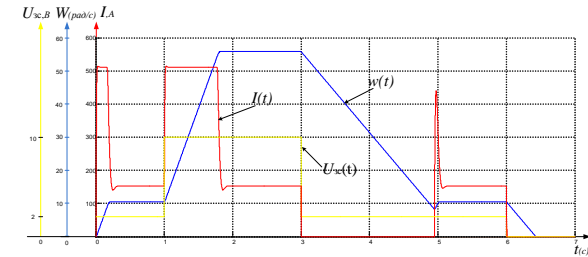




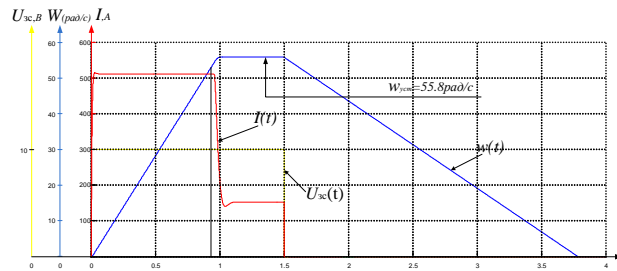
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$, $U_3=1 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.04 \text{ с}$



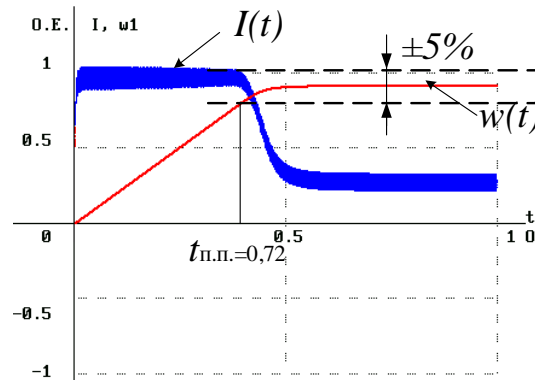
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$, $U_3=10 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.82 \text{ с}$



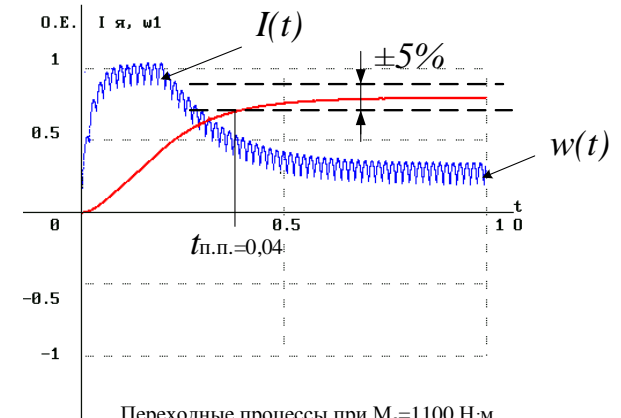
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$, $U_3=2 \text{ В}$,
увеличение $U_3=10 \text{ В}$, уменьшение $U_3=0 \text{ В}$ и торможении $U_3=0 \text{ В}$.



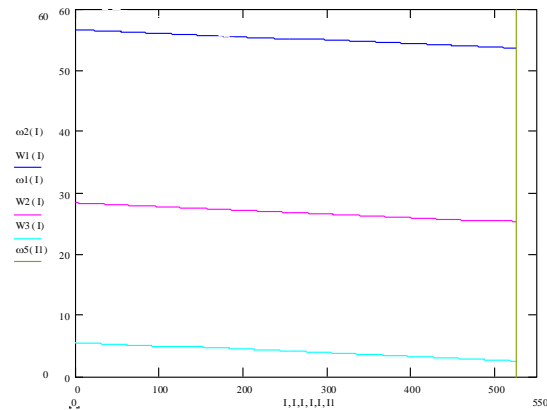
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$,
 $U_3=10 \text{ В}$ и торможении $U_3=0 \text{ В}$



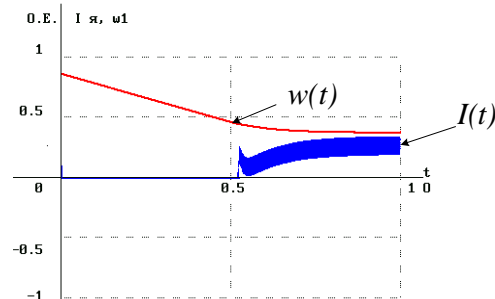
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$,
 $U_3=10 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.72 \text{ с}$, $\omega_{\text{баз}}=60 \text{ рад/с}$, $I_{\text{баз}}=525 \text{ А}$.



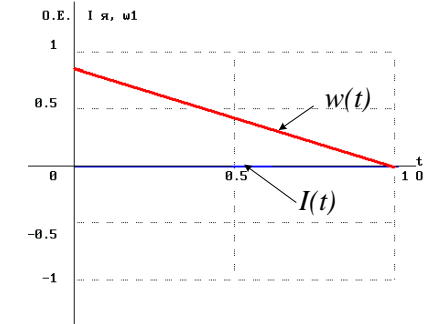
Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$,
 $U_3=1 \text{ В}$, $t_{п.п.}=0.04 \text{ с}$, $\omega_{\text{баз}}=60 \text{ рад/с}$, $I_{\text{баз}}=525 \text{ А}$.



Электромеханические характеристики при различном напряжении на якоре двигателя



Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$, торможение
с $U_3=10 \text{ В}$ до $U_3=5 \text{ В}$, $t_{п.п.}=2 \text{ с}$, $\omega_{\text{баз}}=60 \text{ рад/с}$, $I_{\text{баз}}=525 \text{ А}$.



Переходные процессы при $M_c=1100 \text{ Н*м}$, торможение
с $U_3=10 \text{ В}$ до $U_3=0 \text{ В}$, $t_{п.п.}=2.7 \text{ с}$, $\omega_{\text{баз}}=60 \text{ рад/с}$, $I_{\text{баз}}=525 \text{ А}$.